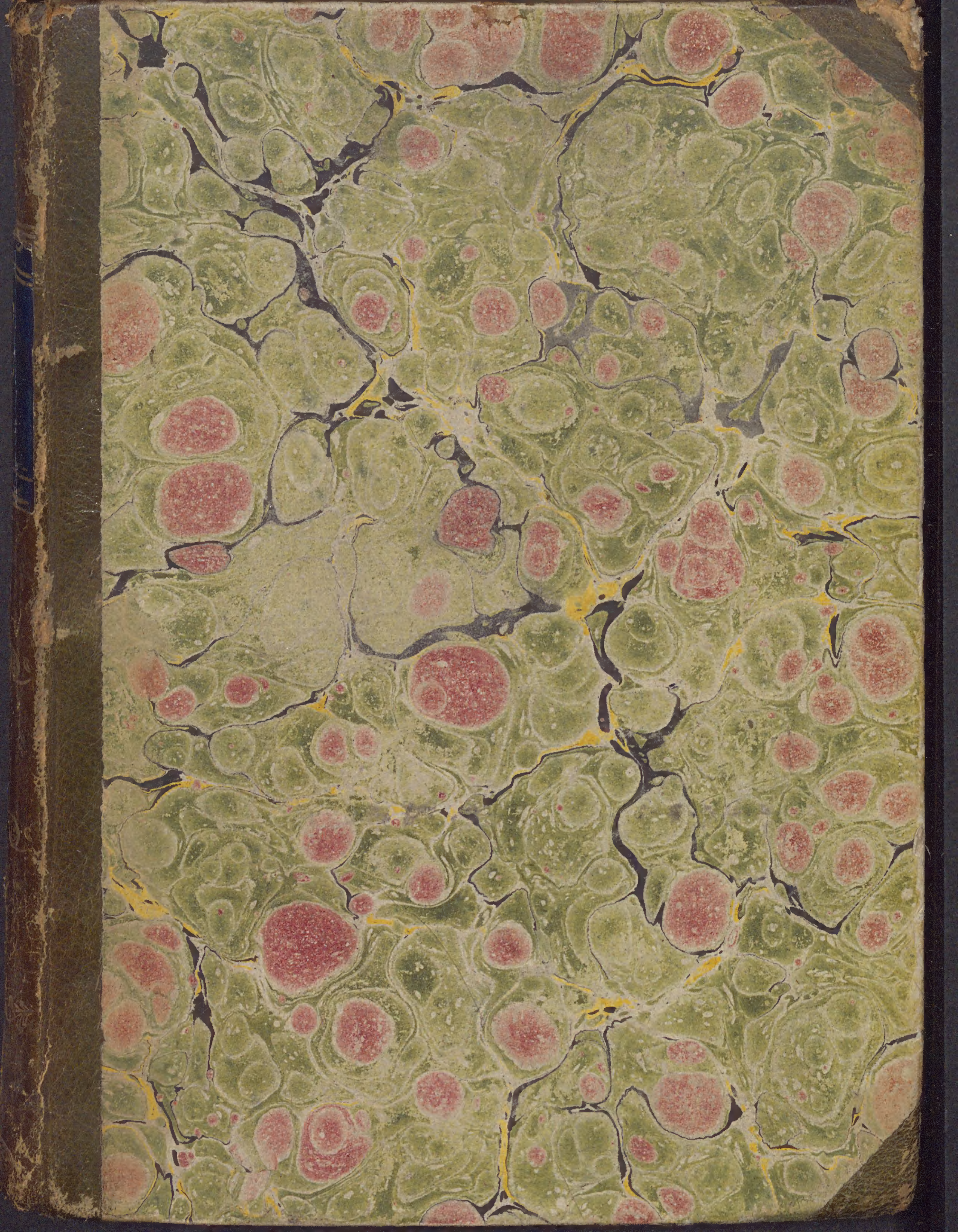






TRATADO

SOBRE EL MOVIMIENTO Y APLICACIONES

DE LAS AGUAS;

EN EL CUAL SE MANIFIESTA POR MÉTODOS SENCILLOS, CLAROS Y EXACTOS, CUANTO PERTENECE A SU CONDUCCION, DISTRIBUCION Y ELEVACION, SEGUN LOS DIFERENTES OBJETOS A QUE SE DESTINEN, PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE LOS PUEBLOS, Y LAS DE LA AGRICULTURA, INDUSTRIA Y COMERCIO: FACILITANDO EL REGADÍO Y LA NAVEGACION INTERIOR, Y PROPORCIONANDO ABUNDANTE Y EXQUISITA PESCA: DEMOSTRANDOSE ADEMAS QUE SU APROVECHAMIENTO EN ESPAÑA OFRECE UNA MASA TAN CONSIDERABLE DE RIQUEZAS, QUE SOLO SE PUEDE CONCEBIR POR LAS MUCHAS Y VARIADAS APLICACIONES QUE CONTIENE.

Obra útil, conveniente y necesaria á toda clase de personas, ya sean propietarios, ya agricultores, ya ganaderos, ya ejerzan alguna ocupacion industrial relativa á minas, molinos ó fábricas: ya desempeñen alguna de las profesiones de construccion, como la de ingenieros en todos los ramos, la de arquitectos, fontaneros, agrimensores, y la de los destinados á las edificaciones en que entran la madera y los metales.

Por D. José Mariano Vallejo.

TOMO PRIMERO.

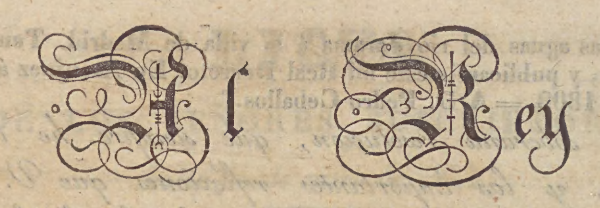
MADRID,
IMPRENTA DE D. MIGUEL DE BURGOS.
1833.

"El que hallase el modo de remediar tanta esterilidad, proporcionando el regadío de los terrenos, sería digno de los mayores elogios, y acreedor á las mayores recompensas."

ARIAS § 18 de su Discurso de apertura en el año de 1830. (*V. pág. 26, nota de este tomo*).

"El siglo en que se haga mucho con poco, y no aquel en que se ejecuten con grandes gastos obras inútiles, es al que la posteridad agradecida reserva una gloria duradera."

GERSTNER al fin de su Memoria sobre las grandes carreteras, los caminos de fierro, y los canales de navegacion.



Nuestro Señor.

Señor:

La obra que tengo el honor de ofrecer en esta ocasion á los pies del Trono, reconoce por orígen el memorable Decreto que V. M. se dignó expedir al principiar su glorioso reinado, y que literalmente dice así:

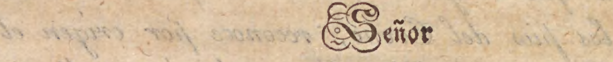
"Las comunicaciones interiores del reino, que están á vuestro »cuidado, merecen mi particular atencion; y por lo mismo me daréis »á la mayor brevedad un informe muy detallado de los canales y cami»nos, que se están construyendo, y de los que tengais proyectados. Os »encargo asímismo, que con preferencia me propongais los medios de »concluir el canal de Manzanares, y llevar á efecto el proyecto de

»conducir las aguas del rio Jarama á la villa de Madrid. Tendréislo entendido, y publicaréis este mi Real Decreto. En Aranjuez á 22 de marzo de 1808. = A D. Pedro Ceballos."

Esta soberana resolucion, que siempre he tenido presente, y las importantes reflexiones que V. M. se ha servido hacerme, tanto al explicarle el plano de mi nivelacion del Jarama, Lozoya, y Guadalix, como en las diferentes épocas en que le he presentado mis obras, han sido los poderosos estímulos, que me han conducido á la formacion de este Tratado, que si no me equivoco, ha de producir ventajas considerables, por dirigirse al bien y utilidad general de los pueblos que la Divina Providencia ha puesto al cuidado de V. M.

Dígnese, pues V. M. permitirme que honre con su Augusto nombre este corto fruto de mis investigaciones, como una nueva prueba del conato enérgico y vehemente deseó, con que V. M. promueve cuanto tiene relacion con la pública prosperidad.

Dios guarde la importante vida de V. M. muchos años. Madrid 30 de mayo de 1831.



A L. R. P. de V. M.

José Mariano Vallejo.

LISTA
DE LOS SEÑORES SUSCRIPTORES
hasta fin de enero de 1833.

EN MADRID.

La REINA Nuestra Señora, que no perdona ocasion, medio, ni fatiga que pueda conducir á promover la felicidad y bienestar de los Españoles, tan luego como llegó á sus Reales y Excelsas Manos el Prospecto de esta obra, tuvo la dignacion de *suscribirse á ella*. Esta accion, que pudiera considerarse á primera vista como de corto momento, acredita del modo mas auténtico y positivo, que identificada con los sentimientos de su Augusto Esposo, está resuelta en un todo á segundarlos, promoviendo la pública prosperidad; y despues de tantas y tan repetidas pruebas de su acendrada virtud y extraordinario talento, ya como Esposa del mas idolatrado de los Soberanos, ya como Encargada del Gobierno durante supenosa enfermedad, no ha querido renunciar tampoco á la gloria y satisfaccion de cooperar individualmente á la ilustracion en materias de tan sublime trascendencia, no desdeñándose de que su Augusto y respetable Nombre se coloque al frente de aquellas personas ilustradas y amantes del bien público, que anticipan sus fondos con tan laudable objeto. De este modo señala á otros la senda que conviene seguir en estas materias, dando este ejemplo mas que imitar á su Augusta y Excelsa Hija la Serma. Sra. Infanta doña Maria Isabel Luisa de Borbon, Heredera legítima del Trono de San Fernando.

D. Juan Miguel Inclán.
D. Custodio Teodoro Moreno.
D. Andrés Coello.
D. Vicente Montero de Espinosa.
Sr. Marques del Socorro.
D. Angel de Castellanos.
Excmo. Sr. Duque del Infantado.
D. Pedro García.
D. Felipe Seco.
Fr. Mariano Nogales.
Sr. D. Justo José Banqueri.
D. Manuel Cabrera.
D. Carlos Spain y Perez.
D. Fernando Cútoli y Laguaner.
Sr. D. José Agustin de Larramendi, Director General de correos.
D. Bartolomé Tejeda y Diez.
Excma. Sra. Marquesa de Villa-

nueva de Duero, Condesa de Villariezo.
D. José María Vivac.
Sr. D. Luis del Aguila y Alvarado, Marques de Espeja.
D. Marceliano Torío y Torres.
D. Franc. Antonio de La-Carcel.
D. José Aparici.
D. Nicanor Manso.
Sr. Conde de Teba.
D. J. G.
D. Ant.º Remon Zarco del Valle.
D. Diego Somera.
El General de artillería D. Joaquin de Osma.
El Coronel de artillería D. José de Córdoba.
La Biblioteca del Real Colegio de artillería.
D. Francisco de Angulo.
Sr. Marques de Falces.
D. Mauricio Ceresoles.
D. Diego Martinez de Pinillos.
D. Juan Ramon de Paternina.
D. Manuel Romero de Tejada.
D. Bernardo Ortiz de Zárate.
Fr. Miguel Echano.
D. Romualdo Vierna.
D. Francisco Recio de la Puente.
D. Tomas Belés.
D. Braulio de la Fuente.
D. Rafael Zavala.
D. Francisco Villalar.
D. Mariano Orona y Eroles.
D. Ramon Casiano Fernandez.
D. Juan José Tejada.
D. Miguel Angel Carruana.
Excmo. Sr. D. José Alvarez de Toledo.
D. José Rivelles.
D. Joaquin C. Vieitiz.
D. Lino de Cosio.
Sr. Marques de Candelaria.
El M. R. P. Isidro Peña de la Concepcion, Rector del Real Colegio de san Antonio Abad de Madrid.
D. José Bueno, por 2 ejemplares.
D. José Antonio Perez.
D. Agapito Guzman.
D. Antonio Zapater.
D. José de Camiruaga.
D. José España.
D. Florencio Vives.
D. Antonio de Varas y Portilla.
D. Miguel Fernandez de Loredo.
D. Gustavo Thuré de Wilcke.
D. Francisco Vallespinosa.
D. Antonio Sandalio de Arias.
D. Tomas Villanova.
D. Donato García.
D. José Duro.
D. Manuel Arnao.
D. Fermin Pilar.
Sr. D. Juan Lopez de Peñalver.
D. Juan Bautista Peironet.
D. Andres Alcon.
D. Pedro Nolasco Gascó.
D. Tomas Juanes Lozano.
P. Mariano Castro, Sacerdote de las Escuelas Pías.
P. Mateo Perez, id.
D. Juan Vallespinosa.
D. Rafael Costa.
D. Juan de Mata Morales.
D. Bonifacio Delgado.
D. Nicolas Arias.
D. José María Vallterra.

EN BADAJOZ.

D. Saturio Mateo del Campo.

EN BARCELONA.

La M. I. Junta de comercio.

D. Baldivio Soler.
D. Manuel Lasala, del comercio.
D. Agustin Gali.
D. Ramon Rovira.
D. Francisco Grau, farmacéutico.
D. Pedro Duran.
D. Martin Carmona.
D. Juan de Yangües.
D. José Mas y Vila.
D. Francisco Vila.
D. Pedro Camerma.
D. Francisco de Asis Soler.
D. J. B. C.
D. Joaquin Tadin, Canónigo.
D. Jaime Matamala.
D. José Jimenez Camacho.
D. Ramon Castells.

EN BILBAO.

D. Pedro Novia de Salcedo.
D. Mariano Castaños.
D. Basilio de Landaluce.
D. Francisco de Arriaga.
D. Hermenegildo Belaunzarán.
D. Pablo de Epalza.
D. Antonio de Goigoechea.

EN BURGOS.

D. Marcos Arnaiz, Arquitecto.
El Coronel de ingenieros D. Antonio Fernandez.

EN CADIZ.

D. Javier de Urrutia.
D. Lorenzo Moret.
D. Juan Serafin Manzano.
D. Francisco Moyano.
D. Torcuato José Benjumeda, Arquitecto de dicha ciudad.

EN CÓRDOBA.

El Excmo. Ayuntamiento de Lucena.
El Sr. D. Juan Ramon de Ubillos, Arcediano de Pedroches.
D. Juan Vila Cedron, como Corregidor y Presidente del Ayuntamiento de Aguilar.

EN LA CORUÑA.

D. Melchor de Prado, Arquitecto de la ciudad.
D. Florentino de Tejada.
D. José Arias y Uria, Abogado.

EN GRANADA.

D. Juan Dionisio Caballero.
D. José Bordin y Góngora.
D. Juan Aunos.
D. Juan Rosales.

EN JAEN.

D. Francisco Martinez Robles.

EN LUGO.

Sr. D. Gonzalo Osorio.
Sr. D. José Otero Arias, sargento mayor de Provinciales.

EN MÁLAGA.

D. Juan de la Monja, Médico director de las aguas de Panticosa. *Hardales.*

EN ORENSE.

D. Manuel Banante.

EN OVIEDO.

El R. P. M. Fr. Pedro Hormillos.
D. Francisco Heredia.
D. Ramon Secades, Maestro Arquitecto de la ciudad.
D. José Llames Valdés.
D. Carlos Escosura Lopez.
D. Bartolomé Mendez de Luarca.
Dr. D. Ildefonso Ahumeda.
D. Antonio Alvarez Castañon.
El R. P. Fr. Ildefonso Simon, Abad de Bened. de Villanueva.

EN PAMPLONA.

La Ilma. Diputacion de Navarra, por dos ejemplares.
D. Juan María Pon y Camps.

D. Miguel Goicoechea y Latiegui.
La Sra. Condesa de la Torre Alta.
D. Joaquin Bayona.
D. Esteban Diaz Aguado.

EN SALAMANCA.

El Rmo. P. Mtro. Fr. Antonio de Limia, Catedrático de Teología de aquella universidad.
D. Agustin Neyla, Capellan de la Garganta de Bejar.

EN SAN SEBASTIAN.

D. Tomas Olasagasti.
D. Juan Ignacio Garmendia.
D. José Ramon de Oñativia.
D. Joaquin Anzola.
D. Ramon Goicineta.
D. José Joaquin Mariategui.
D. Rafael Cornejo.

EN SANTANDER.

D. Cristobal Bernaola.
D. Cornelio Escalante.
D. Juan Antonio Soto.

EN SANTIAGO.

Sr. D. Carlos Fernandez Medrano.
D. Francisco Javier Mendizabal.
D. Juan Bautista Aguirre.
D. Julian Malvar.

EN SEVILLA.

D. José Sanchez, Administrador de la Real Aduana de San Lucar de Barrameda.
D. Manuel Bayo, Coronel de Ing.
D. N.

EN SORIA.

D. Gerónimo Andrés, Capellan del Marques de Tena.
D. Julian Celorrio, Cura párroco de Ntra. Sra. de la Mayor.

EN TORTOSA.

Sr. D. Joaquin Olivano, Canónigo.

EN VALENCIA.

D. Fernando Ferris, Cura de la Puebla Larga.
D. Hermenegildo Blasco.
D. Juan Roca de Togores.
El Sr. Marques de Montartal.
D. Gregorio Colmenares.
Los Sres. Gozalvez y Perez, de Alcoy, por 3 ejemplares.
D. José de los Antos.
D. Pascual Perez y Roca.

EN VITORIA.

D. José Santos de Ayala.
D. Martin de Sarasibar.
D. Manuel Ordogoiti.
El Conde del Valle.

EN ZARAGOZA.

D. Mariano Eito.
D. Antonio Monilla.
El R. P. Fr. Joaquin Aramburu, Comendador de San Lázaro.
D. Miguel Rocafort, Rector de Torre los Negros.
D. Juan Mendoza.
D. Mariano Mateo.
D. Antonio Cabeza, Abogado.

De algunas provincias no se han recibido las notas de los suscriptores. Las que lleguen se insertarán en la lista del segundo tomo.

PRÓLOGO.

Es tan notoria y evidente la necesidad absoluta que hay en España de proporcionar aguas para el abastecimiento de los pueblos y satisfacer las necesidades de la Industria y Agricultura, que parece supérfluo detenerse á probar la utilidad é importancia de una obra, en que se trata, *no solo de conseguir los objetos enunciados, sinó de establecer la navegacion interior para dar salida á los esquisitos frutos de la Península, proporcionar abundante pesca, evitar los contínuos y terribles estragos que causan las avenidas, y combinar de tal modo los elementos de la produccion agrícola, que se cambie repentinamente en frondosidad el aspecto árido y estéril que presentan nuestros campos, y que se reanime y convierta en próspero el estado decadente de nuestra Ganadería y Agricultura.*

Tal es el fin que me he propuesto en la publicacion de este *Tratado.* La empresa es tan árdua y difícil, como importante y necesaria. Y para que no se repute á temeridad ó presuncion el que haya emprendido un asunto de tan alta y sublime trascendencia, juzgo indispensable hacer algunas indicaciones para justificar mi atrevimiento al acometerla.

Es bien sabido de todos los que tienen una instruccion regular, que nuestro suelo está brotando riquezas por todas partes; y como sin embargo no somos tan felices como podemos y debemos serlo, ha formado el asunto de mis profundas meditaciones, por espacio de

muchos años, el escogitar los medios que se deberían adoptar para que los beneméritos habitantes del territorio español puedan sacar el partido mas ventajoso de la feracidad á que convida su clima. Por esta causa, despues de haber asistido á cuantas cátedras tienen relacion con el influjo de nuestra prosperidad, despues de haber recorrido gran número de las provincias de España y adquirido muchas noticias de sus mas instruidos y zelosos moradores; despues de haber viajado por Francia, Inglaterra y Holanda, visitando los establecimientos científicos, literarios, tecnológicos, artísticos ó industriales, y consultando á los Sabios, Artistas y Agricultores de mas profundos conocimientos, me he llegado á convencer de que el no sacar los Españoles todas las ventajas que les ofrece su fecundo suelo, proviene de que *la masa de los conocimientos científicos, indispensables para conseguir tan importante objeto, no se ha puesto bajo el punto de vista que corresponde, para que, aprovechándose de ellos toda clase de personas, puedan disfrutar de los bienes que les presenta el mismo terreno que pisan, tan susceptible de aumentar y mejorar toda suerte de producciones naturales.*

Convencido íntimamente de esta verdad, he juzgado ser de mi obligacion manifestar el resultado de mis continuas lucubraciones sobre tan importante materia: esperando que las inexactitudes que yo pueda cometer, darán márgen á que otras personas mas sabias, ó que hayan sufrido ménos vicisitudes y penalidades, completen lo que yo deje imperfecto. Nada diré aquí sobre el contenido de esta obra, ni sobre los medios que me han conducido en cada investigacion; porque el anticipar estas idéas, en vez de ilustrar al lector y preparar su entendimiento, no servirían mas que para ofuscarle. Por esta causa he preferido el manifestar en la introduccion el plan de la obra y su contenido; y el insertar las re-

flexiones, noticias y tentativas particulares, al hablar de cada materia: con lo cual, ademas de evitarse repeticiones, se consigue, en mi concepto, mayor claridad y fluidez.

Pero lo que sí es muy propio de este lugar, y de que no puedo prescindir, es de manifestar, que siendo el objeto de la presente obra facilitar la inteligencia de aquellas verdades científicas mas sublimes y elevadas, de donde proceden los métodos, las aplicaciones y reglas para convertir en provecho y utilidad propia lo que ahora se mira como inútil y aun perjudicial, mi principal empeño en esta parte se ha dirigido á que las personas de ménos luces puedan emplear con acierto y ventajas sus capitales en aquellos ramos á que los llame su interés individual.

Bien pudiera yo haber seguido en la composicion de este Tratado diferentes rumbos ó caminos; pero si me hubiese propuesto dirigir mi voz solo á los Matemáticos, era limitar la adquisicion de lo que esponía únicamente á los que poseyesen la parte mas sublime del Cálculo: de lo cual resultaba el ser muy reducido el número de personas á quienes podía ser útil. Si yo hubiese elegido el sistema de esponer solo las reglas prácticas, hubiera hecho estensivo su uso á mayor número de personas; mas como las reglas prácticas en materias científicas, sin manifestar su fundamento, no inspiran la debida confianza, tampoco juzgué que debía elegir este rumbo. Y despues de mucha meditacion, me decidí por el método siguiente: *indicar siempre el principio de donde parto, citando el parage de alguna obra científica conocida, en que se halle demostrado; hacer despues todos los cálculos y aclaraciones convenientes, hasta llegar á deducir una regla práctica, que se pueda poner en ejecucion por los que solo tengan un conocimiento regular de las operaciones numéricas, y que yo espongo en mi Aritmética de Niños; que las espresadas reglas sean ta-*

les que se puedan hallar los resultados con la exactitud conveniente, por cuya razon todos los números constantes los he calculado con mas guarismos decimales de los que ordinariamente ocurren, para que el lector haga uso de los que juzgue necesarios; y presentar en seguida de cada regla práctica, el competente número de ejemplos para acostumbrar al lector á ejecutarlos: poniendo por notas aquellos cálculos mas elevados, para desembarazar el texto del mayor número de abstracciones teóricas, y para que todo se presente con facilidad y al alcance del mayor número de personas.

Por último, lo que mas encarecidamente ruego al lector, es que si alguno de mis asertos le parece exagerado, suspenda su juicio hasta consultar á la esperiencia; y teniendo en consideracion que por los métodos fecundos que poséen las Ciencias en el dia, está ya muy reducido el número de los imposibles, procuren ensayar cuidadosamente lo que propongo: con lo cual, no podrán ménos de tener éxito favorable sus empresas. Y si por este medio, los Españoles llegan á prosperar y ser felices, yo me contemplaré el mas dichoso de los hombres.

ADVERTENCIA.

Un número, dentro de un paréntesis, denota que la operacion ó proposicion en que se funda lo que se está efectuando, se halla en el párrafo del mismo libro que tiene dicho número; cuando la cita se refiera á libro diferente, ó á otra obra, se espresará tambien dentro del mismo paréntesis. Las notas mias en toda la obra van señaladas con *; y las correspondientes á los Autores, cuya doctrina trasladamos en algunos parages, van señaladas con números.

INDICE

de las materias contenidas en este primer tomo.

LIBRO TERCERO.

LIBRO CUARTO.

INTRODUCCION.

1 El agua es el cuerpo que mas abunda en la naturaleza; pues por una parte se la encuentra á cualquier profundidad en lo interior de la tierra; y por otra, se halla que cubre la mayor parte de la superficie de nuestro Globo, que por esa razon se llama *Globo Terráqueo*. Ademas, ella es esencialmente necesaria para la existencia tanto de los animales como de los vejetales; pues que la sangre de los primeros, y la sávia de los segundos, no viene á ser sinó agua cargada mas ó ménos de otras sustancias: entra tambien como factor, en gran número de los séres minerales, al ménos cuando están cristalizados, y forma parte integrante del planeta que habitamos.

Sin embargo, yo he presenciado discusiones acerca de si es un cuerpo de orígen mineral como el fierro, el mármol, el granito, el pedernal, &c.; ó si es de orígen atmosférico, y de la atmósfera viene á la tierra.

2 Por fortuna, el espíritu analítico, difundido ya casi en todos los conocimientos humanos, ha enseñado á prescindir de este género de cuestiones, y á fijarse en el exámen de los hechos, que, bien observados, manifiestan las leyes con que obran; y esto equivale muchas veces á si conociésemos *à priori* las causas, para deducir de ellas sus efectos.

3 Principiarémos estas investigaciones, haciendo observar el fenómeno que se presenta por sí mismo á todos con mas frecuencia; este es el de caer el agua en gotas de la atmósfera á la tierra, formando lo que se conoce bajo el nombre de *lluvia*. Cuando el agua de lluvia es poca, toda ella se introduce en la tierra, ó causa solo el efecto de humedecer su superficie; cuando es mucha, parte se introduce en la tierra, y parte desciende por su superficie á los parajes mas bajos, formando torrentes, arroyos y rios, que despues desembocan en los mares.

4 La que se introduce en el seno de la tierra, desciende á su interior, se va filtrando entre sus capas, hasta que halla una de estas ó una roca que le sea *impermeable*, esto es, que ella no pueda atravesar; en cuyo caso, el agua corre por encima de dicha capa ó roca, sigue sus sinuosidades, y va á salir á la superficie terrestre en los parajes profundos, formando manantiales ó fuentes, que, reuniéndose luego entre sí, dan orígen á los arroyos, y despues á los rios, que la conducen tambien al mar.

5 El calor del sol evapora el agua de los arroyos, lagos, estanques, rios y mares; y teniendo el vapor acuoso menor peso específico que el aire, pasa invisiblemente á la atmósfera. Cuando estos vapores han llegado á las regiones elevadas, que por lo regular están mas secas y frias que las inferiores, se vuelven á condensar por el frio, y cae otra vez el agua á la tierra en forma de *relente*, *rocío*, *lluvia*, *granizo*, *nieve*, *etc.*, segun el estado de la atmósfera *; y se repite otra vez esta misma série de fenómenos.

6 Cuando, en un paraje determinado, hay montañas de altura suficiente, queda congelada allí el agua, segun la estacion, á mas ó ménos altura en forma de *nieve*; el calor del sol la derrite á veces en todo ó en parte, y otra cantidad se derrite por el calor terrestre, se introduce en lo interior del Globo, ó corre por las partes mas bajas de su superficie, y contribuye tambien de este modo á aumentar los arroyos, los rios y los mares; de donde comienza otra vez á reproducirse el fenómeno de pasar á la atmósfera, y de esta á la tierra, &c.

7 Las aguas, que corren por lo interior de la Tierra al través de las masas minerales, se cargan mas ó ménos de diversas sustancias que llevan consigo cuando salen á la superficie terrestre. En general, las que salen de la terrenos *primitivos* ** ó *areniscos*, son limpias y puras; pero las que han atravesado montañas calcáreas, y principalmente yesosas, llevan consigo una cantidad mas ó ménos considerable de dichas sustancias, que las hacen poco agradables para beber, y no sirven para ciertos usos domésticos: sucediendo casi lo mismo á las que han permanecido ó pasado por los terrenos de trasporte, donde sustancias piritosas, animales y vejetales, han dado lugar á la formacion de algunas sales ó materias solubles.

---

* Véanse los párrafos 525, 526, 527, 528 y 529 del 2.º tomo de mi Compendio de Matemáticas.

** Véase el §. 578 del mismo tomo.

8 Las aguas, que han atravesado capas impregnadas de semejantes sales y materias, y que contienen una cantidad notable de ellas, independientemente de la cal y del yeso, toman vulgarmente el nombre de *aguas minerales*; y se caracterizan ademas con el epíteto de *termales*, cuando salen calientes de lo interior de la Tierra.

9 Como los rios se forman de la reunion de una gran cantidad de fuentes ó manantiales, deben contener las mismas sustancias; pero estando disueltas entónces en una gran cantidad de agua, dichas sustancias apenas se hacen sensibles.

10 Las aguas corrientes se cargan, sobre todo en tiempo de avenidas, de materias terrosas, que depositan despues en forma de limo, lodo ó barro en los parajes en que su velocidad disminuye.

11 Cuando las aguas pluviales caen sobre un terreno de *trasporte* *, se introducen entre las moléculas de arena y de tierra que le componen; y en virtud de su gravedad, se van abriendo paso, y descienden por lo interior de la tierra, hasta que encuentran alguna roca ó capa impermeable, que por lo general se compone de arcilla mas ó ménos pura. No pudiendo entónces profundizar mas, las aguas resbalan ó corren por encima de dicha capa ó roca; siguen sus pliegues ó sinuosidades, y van á salir á la superficie terrestre por su interseccion con la mencionada capa ó roca, formando allí lo que se llama una *fuente ó un manantial.*

12 Algunas veces estas capas tienen una forma cóncava, y presentan grandes hondonadas ú oquedades, en las que se reunen las aguas procedentes de las filtraciones, y permanecen allí formando como pantanos ó depósitos subterráneos, en los que se sumerge tambien la parte de terreno *permeable*, ó que les da paso, y que está encima. El nivel de estas aguas estancadas se eleva sucesivamente á causa de las filtraciones, que siempre continúan dirigiéndose hácia allí, hasta que dichas aguas encuentran alguna hendedura, rendija, grieta ó salida, que las conduce á la superficie del terreno, algunas veces á una distancia considerable, resultando igualmente por este medio una fuente ó un manantial.

13 Tambien suele suceder en algunas localidades, que hay capas inclinadas de arcilla ó rocas, separadas por una masa de tierra floja, que las aguas penetran, y se elevan en ellas, estando contenidas lateralmente por las expresadas capas, como podrían estarlo por las paredes de un vaso; y cuando una colina ó montaña se com-

* Véase el §. 579 de dicho tomo 2.º del expresado Compendio.

pone de capas inclinadas, sucede con frecuencia que las fuentes salen todas del mismo lado de la colina, y se observa que brotan ó manan las aguas casi siempre hácia el lado en que las capas se introducen en la tierra, miéntras que no aparece ninguna fuente por el lado opuesto.

14 Las fuentes provienen otras veces de la filtracion de las aguas de los rios, que van á salir, á cierta distancia, en parajes que están inferiores al nivel de aquellos en que principia la filtracion.

15 Si las aguas pluviales caen sobre una roca, ó llegan á ella despues de haber atravesado un terreno de trasporte, siguen por sus hendeduras hasta que la roca viene á ser enteramente compacta; en cuyo caso, se rebalsan hasta que encuentran una hendedura que pueda conducirlas á la superficie terrestre. De aquí se deduce, que en las rocas de pocas hendeduras, ó en que éstas solo penetran á una corta profundidad, las fuentes podrán ser muchas en número, pero poco abundantes en agua. Así se verifica en casi todos los terrenos primitivos, y principalmente en los *graníticos*; pues se advierte que las aguas nacen por muchas partes puras y limpias; pero cada manantial suministra una pequeña cantidad. Mas, si las rocas son permeables, y presentan hendeduras que penetren á grandes profundidades, como sucede en todas las calcáreas secundarias, entónces las aguas pluviales descenderán frecuentemente mucho mas bajo que el nivel de los valles vecinos, y se reunirán allí formando los grandes depósitos subterráneos que ya hemos mencionado. Las enormes grutas y cavernas, que estas rocas contienen, les suministrarán una oportuna colocacion, y se llenarán enteramente de agua, hasta que este líquido encuentre alguna hendedura que la conduzca fuera; lo que dará lugar á una fuente ó manantial, cuya fuerza será de algun modo proporcional á la extension superficial del depósito, ó mas bien á la del espacio que envía allí sus aguas. En virtud de esto, las fuentes podrán ser poco numerosas en semejantes terrenos, y resultar valles enteros ó espacios de muchas leguas cuadradas desprovistas de ellas; pero las que allí se encuentren serán por lo regular bastante abundantes de agua. Así es, que de las montañas calcáreas salen las que son célebres por el gran volúmen de agua que suministran. Yo he reconocido la famosa fuente de *Vauclusa*, cerca de Avignon en Francia; y un solo manantial, que se halla al pie de una roca calcárea, que está cortada casi verticalmente, produce en el tiempo de sus aguas medias, como el triplo de la cantidad de agua que lleva nuestro rio Ebro en el invierno al pasar por el puente de

Miranda. Tambien nace en un terreno calcáreo la fuente del Orbe en el Jura, que se considera ser el orígen del Danubio.

16 La diversa disposicion de las grutas, y de sus comunicaciones en estas mismas montañas, da lugar á los fenómenos de las *fuentes intermitentes ó periódicas*, que los antiguos tenían por de mal agüero para el que llegaba á ellas cuando no manaba el agua, y que es un fenómeno natural como cualquiera de los otros. En efecto, si el conducto por donde sale el agua del depósito subterráneo, es recurvo en forma de *sifon* *, y puede hacer derramar mas agua de la que entra en el depósito, despues que él haya vaciado toda la que hay entre el nivel de su convexidad y el punto en que empieza el sifon en el depósito, cesará el chorro ó tránsito del agua; y no volverá á correr ó salir, hasta que la procedente de las filtraciones sucesivas haya llegado de nuevo á la altura de la convexidad del sifon **.

17 Las fuentes son en general, á igualdad de circuntancias, mas abundantes en las montañas que en los valles, por diferentes razones.

---

* Véase el §. 235 de mi Compendio de Mecánica práctica.

** Para convencernos de ello, supongamos un corte de una montaña, tal como la (fig. 1.ª), en la cual haya una concavidad A B C D E F G, á donde vengan á parar uno ó mas conductos de aguas filtradas, tales como m, n, r, s, t, y que dicha cavidad tenga por algun paraje de la parte superior como n, r, s, &c., comunicacion con la atmósfera. En este caso, hasta que la cantidad de agua, procedente de las filtraciones, &c., no haya llegado al mismo nivel A B, que el punto D, no principiará á salir por G; en cuyo caso, habiendo principiado la evacuacion, continuará haciéndolo hasta vaciarse enteramente; y cesará de salir el agua hasta que la cantidad de este líquido, conducida por las filtraciones ó de otro modo cualquiera, haga elevar otra vez su nivel hasta A B, que volverá á principiar á salir agua por G; y de este modo se repetirá el fenómeno, con mas ó ménos intérvalos de tiempo, que se podrían calcular con la mayor exactitud, si se diese conocida la capacidad A B C, la cantidad de agua que entra en un tiempo dado, y la que podría salir por G. Ademas, segun sea la disposicion del punto de salida, podrá suceder que el agua salga presentando el aspecto de un manantial ordinario como en G, de un surtidor ó saltador vertical como en H, de un surtidor oblicuo como en I, ó de otras diversas maneras, que solo dependen de la disposicion de la abertura por donde salga el agua, pudiéndose verificar á un mismo tiempo varias de estas circunstancias.

Las fuentes *intermitentes* mas célebres, por reunir al mismo tiempo las circustancias de ser muchas en número, de ser intermitentes, y presentar surtidores verticales ó inclinados, son las de Islanda, que se encuentran cerca de *ciento* en una circunferencia de ménos de una legua, y siendo al mismo tiempo termales. La duracion de las erupciones y de las intermitencias no pasa de diez minutos; algunas elevan el agua á mas de 150 pies españoles. La temperatura es de 80 á 100 grados centígrados, y sale por un agujero perfectamente cilíndrico de mas de diez pies de diámetro en la mas notable, llamada *Geyser*, que en la lengua de aquel pais quiere decir *furioso*, y está representada en la (fig. 2.ª), donde se indican los cantos y otras materias que elevan.

Plinio, que ha contribuido á que estas *fuentes intermitentes ó periódicas*

1.ª Porque llueve mas en los paises montañosos, y porque por otra parte las montañas parece que ejercen una cierta accion atractiva sobre las nubes; pues se observa, que cuando la atmósfera principia á turbarse, es ordinariamente al rededor de las cimas de las montañas donde se forman las primeras nubes, y cerca de ellas es donde permanecen y se acumulan mas frecuentemente *.

2.ª Se precipita siempre en los vértices de las montañas mayor cantidad invisible de vapor, ó en otros términos, los *rocíos* son mas abundantes en las montañas, al ménos en ciertas circustancias. Los árboles, las plantas, los musgos que están sobre las montañas, no

---

se tengan por de mal agüero, supone que las habia en Cantabria, y habla de ellas bajo el nombre de *fuentes tamaricas*, que tanto el *Padre Flores* como *don José Hipólito de Ozaeta* quieren probar, el uno que se hallan en las montañas de Leon, y el otro cerca de la villa de Elgoibar.

Para desterrar de una vez todas las idéas inexactas, que sobre este particular puedan subsistir, y comprobar que una fuente de estas es un fenómeno tan natural como salir el sol, ponerse, llover, &c., y que no puede servir de agüero malo ni bueno, ya se llegue cuando echan agua, ya cuando estén secas, citarémos una que ha sido intermitente por espacio de mucho tiempo en paraje bien concurrido, y que hasta ahora nadie le ha atribuido ningun influjo en el bien ó el mal de las personas que á todas horas han estado viéndola.

En efecto, los dos caños que arrojan los leones de la fuente de la Cibeles en Madrid han sido interminentes durante muchos años, hasta que en este verano de 1830 han mudado la cañería.

Yo he visto siendo niño, á cinco leguas de Granada, en la jurisdiccion de *Saleres* y sitio llamado *Viñas del orbe*, una fuente de esta naturaleza, denominada desde la mas remota antigüedad *fuente de siete años*, sin duda porque alguna erupcion ó alguna intermitencia duraría este tiempo. Las noticias que posteriormente he podido adquirir, no bastan para fijar el órden que observan sus periodos. El estado presente es que, despues de no manar por espacio de tres años, ha empezado á correr el agua en este de 1830.

* Este hecho, que está reconocido por todos los Geólogos y Geognostas, se explica matemáticamente de un modo muy satisfactorio. En efecto, se sabe que por una consecuencia de la atraccion universal y terrestre, cuando una plomada, ó un péndulo hace sus oscilaciones á la falda de una gran montaña, tanto el péndulo como la plomada, se separan de la vertical, acercándose al lado de la montaña, por la atraccion que la gran masa de ésta ejerce sobre el peso de la plomada, ó la esferita del péndulo; del mismo modo, las nubes, que se pueden considerar como que nadan en el aire sin ninguna cosa que se oponga á su movimiento, por poco que sea el influjo de la atraccion de la montaña sobre la masa de la nube, ésta se irá acercando á ella; y como toda montaña, ó está erizada de picos de rocas, ó tiene árboles ó matorrales, las nubes se entrelazan con dichas asperezas, ó con las ramas y hojas de las plantas, y permanecen como adheridas al vértice de las mismas montañas, hasta que por otra causa diferente, ó abandonen su agua, ó se vean precisadas á mudar de localidad, &c. Pero mientras están fijas ó enlazadas con dichas asperezas, ramas de los árboles ó matorrales, producen el efecto de que todo se humedezca,

pueden dejar de contribuir á favorecer la formacion de las fuentes; pues ademas de cooperar á la condensacion de los vapores suspendidos en el aire, la frescura que esparcen al rededor de sí y el obstáculo que ponen á que los rayos del sol penetren hasta el suelo, impiden, ó al ménos disminuyen considerablemente la evaporacion de las aguas que allí caen; en lo cual tiene tambien mucho influjo la mayor oblicuidad con que hieren los rayos del sol en las montañas; por cuyo motivo no pudiendo evaporarse las aguas, se ven como precisadas á introducirse en el terreno, y á producir fuentes en sus faldas.

3.ª Las nieves y los hielos, que cubren los vértices de las altas montañas, suministran un alimento contínuo á un gran número de manantiales ó fuentes que salen de su pie aun durante las mayores sequedades; y acaso dichas fuentes aumentan en la época de los mayores calores, que es cuando las otras fuentes disminuyen.

4.ª La forma de las montañas, su elevacion sobre el suelo que las rodéa, su mayor ó menor permeabilidad al agua respecto del terreno de los llanos en general, &c., contribuyen tambien á que las

---

á la manera que lo hacen nuestros vestidos, nuestros cabellos, &c., cuando atravesamos por un paraje donde hay niebla.

Por otra parte, en las montañas que tienen arbolados en sus cimas ó en sus faldas, se observa aun en el mismo estío, que la traspiracion de las plantas, al pasar á la atmósfera, que está allí por lo general mas fria que en los valles, á proporcion de su altura, se condensa, á la manera que se verifica con la humedad de nuestro aliento en el invierno; y asi como esta forma una especie de nube bien perceptible y que se condensa al instante humedeciendo muy sensiblemente los embozos de nuestras capas, &c.; del mismo modo, la humedad que, por la traspiracion de las plantas de las montañas, pasa á la atmósfera, se condensa inmediatamente aun en el tiempo de mayor calor, y humedece los vejetales y la tierra á que están adheridos. Yo he observado este fenómeno al ir á la Granja en medio del verano. La traspiracion de los inmensos pinares, de que están cubiertas aquellas montañas en todas sus faldas, quedaba condensada inmediatamente de un modo tan sensible, que turbaban la trasparencia de la atmósfera en medio del estío y cuando no habia en sus inmediaciones ni nube, ni ninguna otra causa á que se pudiese atribuir la expresada falta de trasparencia.

Hay tambien otra razon para que se formen nubes con mas abundancia en las montañas que en los valles; y es debida á los fenómenos de la *capilaridad*, que hemos dado á conocer (§. 403 y siguientes II. C.). En efecto, los vasos de los vejetales, que están destinados á chupar los jugos de la tierra, y á distribuirlos en todas las partes del vejetal, vienen á ser una especie de tubos ó canales sumamente estrechos; y por esta causa, aun independientemente de otras que tambien cooperan á este objeto, se puede explicar el ascenso de dichos jugos hasta la parte mas alta de los árboles. Para hacerlo perceptible, debemos observar que, por los experimentos de Mr. *Gay-Lussac*, resulta que en un tubo de una línea española de diámetro, sube el agua mas arriba de su nivel por la atraccion capilar, hasta mas de quince líneas españolas; y como por una parte hemos demostrado (§. 409

aguas pluviales aparezcan en su superficie, y por consiguiente á que sean allí mas numerosas las fuentes que en las regiones bajas.

18 Ademas de todo esto, si se tiene en consideracion que en virtud de lo expuesto §. 210 y 211 de mi Compendio de Mecánica Práctica, la cantidad de agua que se evapora es mas que la cantidad que cae en forma de lluvia, parece poderse concluir, sin dar lugar á la menor duda, que *el agua es de orígen mineral.* Lo cual por otra parte comprueba, del modo mas positivo, que *llueve mas en en las montañas que en los valles*; pues los experimentos sobre la cantidad de lluvia que cae anualmente, se han hecho en las ciudades y no en las montañas.

19 *Hemos llegado á deducir por medio de reflexiones*, que están al alcance de todos, que *el agua es de orígen mineral*; y ahora debemos añadir, que, para dar una idéa de sus principales caractéres como cuerpo mineral, é indicar por mayor la suma importancia de las funciones que ejerce este agente universal en el gran laboratorio de la naturaleza, se puede dar la siguiente descripcion.

20 *El agua es un cuerpo inorgánico, natural, de los mas*

II C.) que dicho ascenso aumenta en razon inversa de los diámetros, y por otra, en atencion á la finura de los conductos que la naturaleza ha colocado en lo interior de los vejetales, no aventuraremos nada en suponer que haya vasos, entre los destinados á extraer los jugos de la tierra y á distribuirlos á las partes del vejetal, que vengan á ser como tubos ó canales de una milésima parte de línea española de diámetro, resulta que por esta sola causa, é independientemente de otras que cooperan tambien á este mismo efecto, sea capaz de elevarse el agua dentro de los vejetales hasta una altura de mas de *quince mil líneas españolas del suelo*, que hacen mas de *cien pies españoles*; por lo que, esta sola causa es capaz por sí de hacer subir los jugos desde el seno de la tierra, por medio de las raicillas chupadoras, y elevarse hasta la parte superior de los árboles mas corpulentos, y que se verifique por sus hojas una contínua y abundante traspiracion. De manera, que considerando en grande los efectos de la vejetacion, aparece que los vejetales vienen á ejercer las funciones de unos tubos, conductos ó canales que trasiegan las aguas embebidas en la tierra, las someten á la accion vital de los órganos de las plantas, y luego por la traspiracion las convierten en vapores, que pasan á la atmósfera.

Ahora bien, por lo que acabamos de manifestar, en el pie de los árboles de las montañas hay mas humedad que en el pie de los que están en los valles; luego ésta es una de las causas por las que debe haber mas traspiracion en las montañas. Ademas, la mayor densidad del líquido contribuye tambien á que aumente la atraccion capilar; y como el agua en las montañas está mas fría que en los valles, resulta que, á igualdad de circunstancias, debe subir mas humedad por los conductos capilares de las plantas situadas en las montañas, que por los de las situadas en los valles; y habiendo mas traspiracion vejetal en aquellas, se deduce que debe haber alli mayor aglomeracion de vapores.

homogéneos, de la composicion mejor determinada, y dotado del modo mas constante, de las propiedades características que pertenecen á un cuerpo mineral, cristaliza como los cuerpos minerales, formando como ellos terrenos de una estension considerable. Se encuentra frecuentemente en tres estados, á saber: en estado sólido, en estado líquido y en forma de fluido ó de vapor, segun la cantidad de calórico que contiene. Cuando se halla en estado sólido, presenta variedades de forma y de estructura, como las mas exactamente determinadas, reuniendo cuantas circunstancias se pueden apetecer en un cuerpo inorgánico para ser reputado como especie mineral; y presentándose en masas de considerable estension en la cima de las altas montañas, á manera de las rocas mas formidables. En su estado líquido sirve de alimento á los vegetales, se fija en ellos y acrecienta sus partes sólidas; mana de las entrañas de la tierra, corre por los arroyos y los rios, y forma los grandes depósitos que se conocen bajo el nombre de mares, que sirven de vehículo á las embarcaciones para hacer comunicar entre sí los pueblos mas remotos, estendiendo y facilitando al mismo tiempo el comercio. Penetra en lo interior del Globo hasta una profundidad desconocida, y acaso ejerce allí una cierta modificacion sobre los otros cuerpos, análoga á la que se observa en los que ocupan su superficie; y cuya accion modificante importa mucho saber apreciar, para sacar partido de lo que nos puede favorecer y disminuir los inconvenientes de lo que nos puede perjudicar. Su impulso sirve de motor á una multitud de máquinas tan útiles como ingeniosas. Convertida en vapor se estiende por la atmósfera y da orígen á las nubes, que corren por las regiones superiores á manera de torrentes, y al tocar en las montañas, se detienen en ellas, humedeciendo cuanto allí existe; y si el hombre tiene á su disposicion, en el parage que le acomode, una potencia superior á todas las conocidas, la debe á este cuerpo convertido en vapor.

El agua es el elemento, por decirlo así, en que viven una multitud de séres organizados; sirve de bebida al hombre y á todos los animales que pueblan la tierra y los aires; por su coccion en ella, sacamos los jugos nutritivos de las sustancias animales y vegetales, y se preparan estas para que, haciéndose accesibles á nuestros órganos, puedan servirnos de alimento. En su seno se han formado una multitud de minerales y de sustancias, á las cuales la industria humana parece dar una nueva existencia, ela-

borándolas para satisfacer á nuestras necesidades y procurar nuestras conveniencias.

Los efectos del agua se hallan enlazados con todo lo que interesa á la existencia y modificaciones de los séres; pues sin su auxilio no pueden los cuerpos obrar los unos sobre los otros, á causa de que para esto, es preciso, que al ménos uno de ellos, esté en disolucion; como se patentiza en la purificacion de todas las sales y del azúcar, en la fabricacion de los ácidos y de los álcalis; en la preparacion de las materias colorantes, en su fijacion en los tejidos, en los lavados indispensables, en las operaciones metalúrgicas y docimásticas, y en general en todas las manipulaciones de las artes industriales.

22 *El agua ejerce una accion general sobre todos los cuerpos; penetra en su interior, se aloja entre sus moléculas, que separa mas ó ménos, y produce una verdadera dilatacion; de modo que se halla tan esparcida en la naturaleza, que obra perpétuamente, y muchas veces sin que nosotros lo percibamos, sobre todos los cuerpos y sobre nuestros mismos órganos. Es el objeto de mas absoluta necesidad; y su influjo y utilidad en todas las épocas y circunstancias de la vida civil y en las artes es de tal modo reconocida, que no solo debemos ocuparnos de esplicar sus numerosos é importantes usos, sinó tambien de indicar los obstáculos que el agua ofrece muchas veces á nuestros designios, los efectos ocultos que se deben á su presencia, y las fuerzas motrices que resultan de sus diversos estados, á fin de que el hombre convierta en provecho suyo los mismos inconvenientes que el agua presenta.*

23 *El agua parece estar unida con los minerales de tres modos muy diferentes.*

1.° *Simplemente interpuesta, pero de un modo mas íntimo, que por la sencilla humectacion, ó si estuviesen solamente humedecidos; pues que estos minerales no se secan tan prontamente como cuando han adquirido la humedad por inmersion; y una vez secos, el agua, que vuelven á tomar por inmersion, no les hace adquirir las mismas propiedades. Así es, que cuando pierden su agua de cantera, no se pueden labrar con tanta delicadeza como ciertas artes ó usos exigen; y aunque se sumerjan otra vez en el agua, no vuelven á tomar el género de tenacidad que gozaban al salir de la cantera.*

2.° *El agua se halla de todo punto combinada en los minerales, y no se les puede despojar totalmente de ella, sinó por medio de un calor frecuentemente muy poderoso.*

3.° *En otros casos, el agua combinada en los minerales parece formar parte esencial de la especie; pues se presenta siempre en ellos casi en las mismas proporciones.*

24 El agua es uno de los principales agentes de la vejetacion, y en el concepto de algunos el *único*; pero como nada de lo que vamos á establecer, conviene que esté fundado sobre opiniones exageradas, dudosas, inciertas ó aventuradas, nos contentarémos con partir del hecho, que es reconocido por todos, á saber, de que *el agua es absolutamente necesaria para la vejetacion* *, prescindiendo de disputar acerca de si ella sola es ó no suficiente para tan interesante funcion de la naturaleza.

25 Otro de los agentes mas importantes que sirven para la vejetacion es el *calor*; cuyo influjo no solo se estiende á cooperar al movimiento de la sávia, á descomponer, combinar y asimilar las sustancias alimenticias de las plantas, sinó que como sin el calor, pierde el agua su estado de liquidez, convirtiéndose en hielo, y las plantas no pueden recibir su alimento ó nutricion, sinó cuando el agua está líquida, resulta que *sin calor tampoco puede haber vejetacion*; por lo cual se considera *como límite de toda vejetacion el parage donde, ya sea por su altura sobre el nivel del mar, ó por su distancia al ecuador, se obtienen siempre nieves perpetuas*, esto es, donde existe el agua siempre en estado sólido, y no puede recibir allí jamas su estado líquido.

26 Aunque en lo que llevamos espuesto, hemos hecho uso de las palabras con que se denominan las varias corrientes y depósitos de agua, no estará demas el que fijemos su verdadera significacion, por los muchos perjuicios que resultan de tomar unos las palabras en diferente sentido que otros.

Así, todo parage, ó sitio de la tierra, en que se ve el agua salir de su interior, es lo que se llama *fuente* ó *manantial*; de manera, que las diversas corrientes de agua que adornan, refrescan y fertilizan la superficie del Globo, se llaman *fuentes*, y conservan este nombre en todo su cursó próximo á su salida del suelo al traves del cual se filtran; estas fuentes, á cierta distancia de su orígen, se reunen con otras y forman las corrientes de agua, que se caracterizan con el

* Los que deséen instruirse á fondo sobre el modo con que obra el agua en el desarrollo y nutricion de las plantas, &c, deben leer atentamente la obra intitulada *Lecciones de Agricultura esplicadas en la Cátedra del Real Jardin Botánico de Madrid* por el Sabio Profesor don Antonio Sandalio de Arias, y con especialidad las lecciones. 3.ª y 14.ª

nombre de *arroyos*; estos se suelen designar con la denominacion de *torrentes* cuando corren con mucha rapidez; pero la verdadera accepcion de dicha palabra es para las corrientes de agua que no son permanentes, y que son producidas por las lluvias ó por la fusion de las nieves. Cuando el torrente no tiene mucho declive y ocupan las aguas pluviales ó de la fusion de las nieves, una grande estension de terreno en las quebradas de los montes y valles, se llama *rambla*.

Los arroyos y los torrentes, reuniéndose en un terreno mas bajo, dan nacimiento á diversas corrientes de agua, que en Español se llaman *riachuelos*; y estos por su reunion en el fondo de una misma hoya hidrográfica forman los grandes *rios*. Los franceses suelen hacer una distincion entre las palabras *Fleuve* y *Rivière*, queriendo espresar con la primera *un gran rio que desemboca en el mar*, y por la segunda *uno que carece de estas circunstancias*, y que uniéndose á otro mas caudaloso pierde su nombre; pero el uso no ha podido establecer, á pesar de las definiciones de los Geógrafos, una division bien precisa entre dichas palabras; pues se suele usar de la palabra *rivière* hablando del rio de las Amazonas, siendo así que este es el rio mayor del universo *.

27 La cavidad, que ocupa una corriente de agua, es lo que se llama su *lecho*, *madre ó álveo*; y la línea formada por la parte mas profunda, es lo que se llama *Thaliveg* entre los Alemanes. Los parages de la tierra, que sirven de límite á ésta y al agua de los rios, se llaman *bordes*, *riberas*, *orillas ó márgenes*, cuando son poco elevadas; pero si la corriente de agua está encajonada, y las orillas son escarpadas, toman el nombre de *ribazos*. La *ribera* ú *orilla* de una corriente de agua, que se encuentra á la derecha del que la baja, es la *orilla derecha*, y la otra es la *orilla izquierda*.

28 El parage en que una corriente descarga sus aguas en otra, en un lago, ó en el mar, se llama *desembocadura ó desembocadero*; y el sitio donde se reunen dos corrientes de agua, se llama

* En efecto, el rio de las *Amazonas*, que tambien se suele llamar *Orellana*, *Solimoes ó Marañon*, nace de la laguna de *Tarma* en el Perú á 8 grados y 56 minutos de latitud austral, y corre del mediodia al norte hasta la provincia de Quito. Desde allí, donde forma el estrecho de Guaracayo, sigue el curso de poniente á levante corriendo mas de 1800 leguas desde su orígen hasta salir al mar; su boca ú salida tiene 84 leguas, y es tan grande la violencia é impulso de sus aguas en dicho parage, que hacen retroceder las del mar conservando ellas su corriente y dulzura por mas de 80 leguas dentro del mismo mar. A pesar de esta masa de agua tan imponente, este rio en *Llanas*, solo tiene una inclinacion de $\frac{1}{27}$ de pulgada por 100 pies de longitud, que equivale á 1 pie de inclinacion por 62400 de longitud.

confluencia. Cerca de las orillas de las rios, el movimiento de las aguas siempre es mas lento que en el medio de la corriente; es oblicuo, y á veces retrógrado en una gran estension, hasta el primer recodo que hace dirigir el agua hácia el medio de la corriente, que se suele llamar *eje del rio.* Este movimiento retrógrado, que en muchos parages es bien sensible, es lo que se llama *un remolino.* Todos los rios tienen remolinos en sus desembocaderos en el mar. El mas bien caracterizado, que yo he visto, ha sido en el *Támesis* cerca de Lóndres. El *Misisipí* lleva tantas aguas, y es tan sumamente rápido en la primavera, que no se puede subir por él sinó aprovechándose de las *contra-corrientes ó remolinos.*

29 Al entrar los rios en el mar, suelen dividirse sus aguas en varias corrientes que reciben el nombre de *brazos*, y forman entónces un triángulo, que, cuando es equilátero, se parece á la letra D mayúscula, que los griegos llaman *delta*, y designan con este carácter Δ; y así se dice la *delta* del *Nilo*, del *Ganges*, del *Pó*, &c.; el estremo de los diferentes *brazos* formados por un rio, toman el nombre de *bocas*, tales son las del *Ródano*, del Nilo, del Ganges, &c.

30 El flujo del mar hace que suba el agua por los desembocaderos de los rios, se opone al descenso de las aguas de estos, y produce lo que se llama una *oleada* ó *barra de agua*, que algunas veces causan estragos, por los árboles que arrancan, y las rocas que desprenden, como sucede á la que se verifica en el rio de las Amazonas, á que los indios llaman la *pororoca*, y que se compone de tres á cuatro olas de quince á veinte pies de altura.

31 Cuando el lecho de una corriente de agua muda repentinamente de nivel, forma lo que se llama una *caida ó salto.* Si sus aguas se precipitan de una grande altura, se estrellan y rompen sobre las rocas, y se elevan, formando espuma, este salto se llama *cascada.* Si un rio cae formando varias cascadas de seguida, y hace oir á lo léjos el estruendo que resulta del descenso de sus aguas, esta serie de caidas ó de cascadas, se designa con el nombre de *catarata.*

La catarata mas célebre del mundo es la del rio *Niagara* en la América septentrional; cae el agua de una altura de 140 pies: en el parage de la catarata tiene el rio media legua de ancho y mas de diez pies de profundo; luego que el agua ha caido al fondo, rebosa con mucha elevacion y forma una espuma blanca como la nieve, y siempre está en movimiento como si hirviera; los vapores que levanta parecen un denso humo sobre los cuales reverberan los rayos del sol,

se descompone la luz, y presentando los colores del iris, causan al viagero la mas deliciosa perspectiva.

32 Algunas veces una corriente de agua, sin mudar mucho de nivel, se encuentra obstruida y atajada por rocas, á cuyo traves se ve obligada á pasar; estas rocas se llaman *escollos*.

33 Frecuentemente sucede tambien que un rio, sin mudar muy repentinamente de nivel, precipita su curso descendiendo por caidas poco elevadas, y que se siguen como los peldaños de una escalera: los Ingleses llaman *rápidos* á esta especie de saltos. En las aguas mayores, los bateles pueden algunas veces pasar los *escollos y los rápidos*, pero jamas las *cascadas ó cataratas*. Las célebres cataratas del Nilo parece que se deben caracterizar mejor con el nombre de *escollos*; y la caida del mismo rio en *Nubia*, parece ser una verdadera catarata. Las que en el Orinoco se designan como cataratas parece que son verdaderos *rápidos*, y se forman por una inumerable cantidad de pequeñas caidas que producen estas aceleradas corrientes de agua, que los Españoles han designado bajo el nombre particular de *raudales*.

34 Cuando una corriente de agua encuentra un banco de rocas sólidas, que limitan su lecho, y bajo estas rocas se estiende una capa de sustancias mas blandas, las aguas, corroyéndolas, se abren un paso subterráneo; de donde resulta el orígen de los rios que se pierden debajo de tierra. Este fenómeno se presenta igualmente cuando acaba la corriente en terrenos flojos y esponjosos. Son muchos los rios que se pierden en Francia, Inglaterra, &c. En España es famosa la desaparicion y aparicion del *Guadiana*; y no deja de ser estraño el que, en la mayor parte de los mapas y descripciones de nuestros Geógrafos, se presenten con inexactitud estos parages tan notables. La situacion mas exacta es la que pone don Isidoro de Antillon en la nota de la pagina 255 de su Geografía de España; y resulta de ella, que á dos leguas de la villa de Alcazar, hácia mediodia, es el sitio donde se pierde Guadiana, introduciéndose el agua insensiblemente por la tierra; de manera, que se queda en unas balsas pequeñas, y vuelve á aparecer á unas dos leguas al norte de Manzanares entre Daimiel y Calatrava.

A pesar de que este fenómeno es bastante frecuente, habia hecho creer á los antiguos en comunicaciones subterráneas entre los rios mas remotos; y en virtud de las mas estrañas hipótesis, las continuaban por bajo de los mares. De manera, que, al leer los escritos de los Filósofos, de los Historiadores y de los Geógrafos de

la antigüedad, se advierte con frecuencia que, cuando quieren elevarse á consideraciones generales, mezclan muchas preocupaciones estravagantes, y ciertos sistemas absurdos que detienen el esfuerzo de su ingenio, y alteran la escelencia de su juicio.

35 Otras veces el curso de un rio se debilita en virtud de las filtraciones subterráneas, sin perderse enteramente debajo de tierra; entónces su lecho ménos profundo, forma algunas veces lo que se llama un *Vado*, que es un parage por donde el hombre puede atravesarle con seguridad; y en general, se dice que un rio es *vadeable*, cuando su fondo es llano y sólido, su curso no es demasiado rápido, sus orillas son accesibles, y que se puede pasar sin peligro, á pie, á caballo, ó en carruage.

36 Las lluvias periódicas, que se verifican entre los trópicos, producen tambien en los rios de la Zona Tórrida, *crecidas igualmente periódicas*; así es, como el Nilo, el Ganges, el Senegal, &c. en ciertas épocas del año salen de madre, y bañan durante muchos meses la vasta estension del pais que fertilizan. Entónces frecuentemente las planicies poco elevadas, que separan las fuentes que desaguan en los grandes rios, hallándose cubiertas de agua, se comunican entre sí, mientras dura la inundacion; de este modo es como, segun refieren los viageros, la laguna de *Jarayes* y la de *Parma* reunen al rio de la *Plata*, el de las *Amazonas*, y el *Orinoco*; y sin las cascadas que allí existen, se podría en esta época atravesar la *América Meridional* por *agua*, del Norte al Sur.

37 En las zonas templadas, la fusion de las nieves en primavera y en estío, y la cantidad de lluvia que cae en ciertas épocas del año, aumentan el volúmen de los rios, acrecientan su rapidez, y producen tambien avenidas, inundaciones y fuentes temporales. La diferencia entre *avenida é inundacion* es la siguiente: *avenida* es un esceso considerable de agua en un arroyo, torrente ó rio, que aumenta la fuerza de la corriente; pero que, sin embargo, el agua no sale de sus márgenes para ocupar las tierras circunvecinas, que se llaman *ribereñas*. La *inundacion* se verifica en el caso de que por aumentar las aguas, ó por romperse alguna de las obras destinadas á contenerlas, salen las aguas de sus márgenes ordinarias, cubren los campos, y causan perjuicios de consideracion.

38 Los saltos, las cascadas, las caidas, las desapariciones debajo de tierra, las inundaciones y crecidas periódicas ó irregulares, presentan muchas veces obstáculos insuperables á la navegacion de los rios, cuyo curso, sea por sus sinuosidades, sea por sus

direcciones, no son siempre adecuados para establecer fáciles y prontas comunicaciones entre las diversas partes de un mismo pais; y cuando lo son, es para este objeto muy útil reunirlas por cortes transversales; estos motivos han empeñado al hombre á abrir para su uso los *canales navegables*, especies de *rios artificiales*, por cuyo medio se salva la diferencia en los niveles, la desigualdad ó rapidez de los *rios naturales*, con depósitos, represas, esclusas, con puentes construidos en los valles, y con subterráneos hechos en las montañas. El gran canal de la China, que une el *Hoang-Ho*, y el *Yang-tze-Kiang*, el canal de *Mediodia* en Francia, que une el Mediterráneo con el Oceáno, y varios construidos en Inglaterra, son los canales mas notables que existen actualmente en el Globo. En España sería el mas ventajoso el que uniese el Oceáno por *Orio* con el Mediteráneo por *Tortosa*, y cuya ejecucion por otra parte presenta ménos dificultades, en virtud de los reconocimientos que yo tengo hechos, y de las investigaciones contenidas en los libros 4.° y 9.° de esta obra.

39 Los nacimientos de un gran número de rios nos son desconocidos; los del *Nilo*, del *Indo*, del *Ganges*, del *Hoang-Ho*, y del *Yang-tze-Kiang* no han sido todavía visitados; los cursos de todos estos rios, se encuentran trazados en los mapas, desde su nacimiento, en virtud de indicaciones vagas; otros grandes rios, tales como el *Zaïre*, el *Zambezé*, &c. en *Africa*, el *Bourrampontre*, el de *Siam*, &c. en *Asia*, no han sido reconocidos sinó á poca distancia de sus desembocaduras, aunque muchos Geógrafos trazan su curso desde su orígen; en fin, por una singularidad notable, se conoce el nacimiento del *Niger* en Africa, y el principio de su curso, miéntras que se ignora la direccion de sus aguas á una gran distáncia de su nacimiento, y el verdadero lugar de su desembocadura.

40 Los grandes depósitos de agua que se encuentran en lo interior de los continentes y de las Islas, y que no tienen comunicacion visible con el mar, forman lo que se conoce bajo el nombre de *pantanos*, *lagos*, *lagunas y mares interiores*. Los *pantanos* son unos depósitos de agua que, por lo general, son cenagosos y poco profundos, pero no tienen curso, ni reciben aguas corrientes; y quedan secos una cierta parte del año. Los *lagos* son depósitos de agua, que se forman, ya por manantiales, ya por arroyos ó por rios que terminan en ellos ó los atraviesan, siendo bien famoso el *lago de Ginebra*, que se halla atravesado por el Ródano. La pala-

bra *laguna* encierra la misma idéa que *lago*, sin mas diferencia que aplicarse á un depósito de mayor estension que el lago; y cuando las lagunas llegan á ser de tal capacidad que desembocan en ellas rios considerables, se caracterizan con el nombre de *mares interiores.*

41 Frecuentemente la abundancia de las lluvias produce depósitos de agua, que la evaporacion hace desaparecer. En los paises templados, estos depósitos de agua son simples *balsas* ó *charcas*, que no merecen ser notadas; pero entre los trópicos donde llueve como suele decirse á *cántaros*, forman *lagos* ó *mares interiores periódicos y temporarios*; cuando principian á desecarse vienen á formar vastos pantanos que suelen contener plantas, que se elevan por encima de su superficie ó de los terrenos humedecidos, pero no sumergidos.

42 Los pantanos, lagos y lagunas no solo se forman en las partes bajas de los terrenos, sinó hasta en las partes altas de las montañas. Así es, que se encuentran en los Alpes, en los Pirineos, &c.; y en algunos parajes de la América septentrional hay montañas, cuyas cimas son cenagosas, y están frecuentadas por aves acuáticas; miéntras que los valles situados al pie, compuestos de rocas, están secos y son estériles. En España hay varias en las cimas de las montañas en diferentes parajes. Hay una en la parte superior de las montañas de Somosierra, denominada laguna de *Peñalara*, que se halla como unos 7200 pies sobre el nivel del mar, y da orígen á diversos riachuelos, entre ellos al *Lozoya*. Tambien se halla otra llamada la *Caldera* en la Sierra nevada de Granada en un valle entre el *picacho* de *Veleta*, y el de *Mulhassem*, ó *Muley-hasen*, á unos ocho mil pies sobre el nivel del mar, y cuyas filtraciones parece que forman el nacimiento del famoso rio *Genil.*

43 En la cercanía de los mares, de los rios y de las fuentes, se encuentran muchas veces especies de terreno, que participan de las propiedades del suelo de los lagos y de la tierra firme: tales son en Holanda los que llaman *polders*, los que en Dinamarca llaman *Kogs*, y los *juncales* de Fuenterrabía en España, que todos ellos son terrenos, robados al Oceáno que los cubria, y que encerrados por diques y por *canales de desecamiento* se cultivan con ventajas conocidas. Tambien hay terrenos que forman *islas flotantes*: son producidos por los cañaverales que, por crecer demasiado espesos, se pudren las fibras de las raices por donde se unen al suelo inferior; y como toda la masa de tierra que abrazan, viene á ser mas ligera que el agua, el empuje de esta las hace desprender del sue-

lo, y flota en la superficie. Esto no les impide producir nuevas cañas, porque la materia de las antiguas raices, contenidas en estos montones flotantes, les suministra un alimento suficiente. Cuando las arenas y otras materias acarreadas por las aguas se colocan en su superficie, de modo que vengan á ser específicamente mas pesadas que el agua, caen al fondo, desaparecen ó forman un nuevo suelo elástico, compresible y apoyado en una base firme que viene á ser despues una tierra nueva, sólida y permanente; esta es la causa sencilla y natural de este fenómeno, que parecía tan admirable á los antiguos, y que fué para ellos la fuente de tantas ficciones brillantes é ingeniosas.

44 Los rios y los lagos tienen sus islas, sus penínsulas, sus promontorios, sus cabos, sus ensenadas y sus puertos, que solo difieren de los del mar, en ser mucho mas pequeños; y en cuya esplicacion no entrarémos, por hallarse en todos los libros y prontuarios de Geografía.

45 En general, las lluvias, las inundaciones, y el calor del sol dan á la vejetacion en toda la Zóna Tórrida, un vigor y una belleza desconocida en los climas templados. Un verdor perpétuo, la gracia y magestad de las formas, y lo agradable de los vastos sombríos, son los atributos de los árboles en sus selvas; la fecundidad de la naturaleza se desplega tambien en los arbolillos y en las plantas herbáceas, en las flores y en los frutos, que presentan figuras mas singulares y variadas, colores mas vivos, sabores mas fuertes, y olores mas agradables. Los animales se multiplican con mas rapidez; los pájaros, los pescados y los insectos deslumbran nuestros ojos, y rivalizan por su brillo con los metales y piedras preciosas.

46 La naturaleza siempre variada, presenta raras veces los mismos tipos de una manera uniforme; y parece haber hecho una justa compensacion de sus dones; así es, que si entre los trópicos nos manifiesta formas vejetales mas imponentes, si el barniz de las hojas es mas brillante, si las plantas abundan mas en frutos suculentos y sustanciosos, en resinas aromáticas; si los árboles mas elevados están constantemente allí adornados de las flores mas hermosas, mas odoríferas; si la corteza quemada de sus viejos troncos forman contrastes mas agradables con el fresco verdor de las enredaderas ó bejucos; en vano se buscarían en dichas localidades las vastas y grandes praderías, que en las zonas templadas recrean nuestra vista de un modo tan delicioso, y que hacen tambien resaltar lo cris-

talino de las aguas; no se conoce allí la renovacion de la sávia en primavera, que dando un impulso nuevo á la vejetacion, forma contraste con los horrores del invierno, y produce las dulces sensaciones, reservadas únicamente á los habitantes de los climas del norte. En fin, si la naturaleza ostenta en los paises calientes el lujo de sus colores, ó abundancia de sus perfumes, y los sabores mas esquisitos, no por esto se debe creer que haya privado enteramente de sus beneficios á estas zonas entristecidas por el frio, cuya mansion parece tan desagradable á los habitantes de los climas templados: allí se presentan en las lindes de los bosques, las bayas rojas y perfumadas de la fresa y frambuesa; el abedul exhala en la primavera un fuerte olor de rosa, los sombríos pinabetes se festonéan del verde mas delicado, el alerce se engalana con sus conos violados, el serbal con sus racimos de escarlata, los musgos se ribetéan de violado y de púrpura; y diversas especies de colinaba ostentan sus matices variados de grís, de azul, de blanco, de amarillo y de bermellon; en fin, los hongos se presentan bajo todas las formas y bajo todos los colores, conservando tambien sus hojas verdes todo el año, aun en la proximidad de los círculos polares, los pinabetes ó abetos, así como lo hacen en el ecuador las hermosas palmeras.

47 La España es el único pais, que puede reunir naturalmente cuantas producciones existen en el Globo, desde el ecuador á los polos. Por su situacion geográfica ocupa la parte de Europa casi mas meridional en la zona templada; por lo cual disfruta, en general, un clima dulce, benéfico y apacible; y su disposicion *geológico-topográfica*, es la mas adecuada para todo género de producciones: En efecto, si consideramos su parte mas meridional, la hallarémos en contacto con el Mediterráneo, que la separa del Africa, y resguardada al norte por una cordillera de montañas: de donde resulta, que Valencia, Murcia, Motril, Almuñecar, Málaga, Cádiz, San Lucar, &c. disfrutan de los mismos aires que la Zona Tórrida. La España reune tambien la circunstancia en su parte meridional, de tener montañas tan altas, que conservan en sus cimas las nieves perpétuas. Motril es uno de los pueblos mas adecuados para las producciones de la *Zona Tórrida*; y así es, que se crian en él la caña de azucar, el algodon, &c. El espresado pueblo se halla casi en el mismo meridiano que la *Sierra nevada de Granada*, cuyas cimas están siempre cubiertas de nieve hasta en lo mas rigoroso del verano. La distancia de Motril á la cima de dichas montañas, donde existen siempre las espresadas nieves perpétuas, será como de unas seis leguas;

por consiguiente, en esta corta distancia norte-sur se pueden cultivar en España todas las producciones singulares que se crian espontáneamente desde el ecuador hasta los círculos polares, que ya por lo general se hallan tambien cubiertos de nieve perpétuamente, y por lo mismo escluyen toda vejetacion.

48 Lo restante del territorio Español se compone de una serie alternativa de valles y montañas, que, aunque no se elevan tanto como dicha Sierra nevada, pues que solo conservan la nieve unos seis ú ocho meses del año, sin embargo contribuyen muy eficazmente para que, en una corta estension de terreno, se puedan cultivar plantas indígenas de paises muy distantes. Yo he observado, al pasar de Sevilla á Córdoba, en un monte, el caso mas singular y sorprendente que se puede concebir, á saber; hallar puntos en una misma latitud, á una misma altura sobre el nivel del mar, y distantes entre sí ménos de cien varas, en los cuales podian vejetar espontáneamente plantas indígenas de paises que distasen entre sí muchas leguas en direccion norte-sur, y terreno horizontal. En efecto, aquel monte, por la parte que mira al mediodia, disfruta del aire caliente del mar y del Africa, y por la parte que mira al norte, ya el aire tiene una temperatura fria, en tales términos, que hace una impresion sensible en nuestros órganos. Y como la cresta del monte forma sinuosidades, tuve la curiosidad de observar puntos situados en un mismo paralelo, y á una misma altura sobre el nivel del mar, y muy poco distantes entre sí, en que sentía en un paraje calor, y en otro un frio desagradable. Esto se comprueba tambien observando lo que se verifica en Aranjuez, que, por su situacion Topográfica, se conservan allí aclimatadas muchas plantas exóticas que no podrían existir en parajes mas al mediodia, y á ménos altura sobre el nivel del mar.

49 Toda esta variedad de climas, de temperamento, &c., en España, en vez de ser un defecto, se debe considerar como lo que contribuye á su mayor riqueza, segun establece muy oportunamente el célebre Agrónomo *don Antonio Sandalio de Arias*, en la décimaquinta de sus lecciones de Agricultura. Este Sabio y benemérito Profesor divide con mucho acierto el territorio de España en *provincias húmedas*, *provincias frescas*, *provincias secas*, *provincias cálidas y provincias ardientes*. Yo he recorrido gran parte de las que llama *provincias húmedas*, y cuyos caractéres esenciales podrán verse en su apreciabilísima obra; pero he observado en ellas que ciertas plantas, para no perecer en las estaciones calurosas, es necesario regarlas: en todas las demas, nadie duda que haciendo de regadío las

tierras de secano se aumentaría considerable y prodigiosamente la produccion *; y tanto mas, cuanto mayor sea el grado de calor en

---

* Para que no se nos tache de exagerados, insertarémos íntegramente aquí el discurso que pronunció el recomendabilísimo Profesor Arias en la apertura del curso correspondiente al año de 1830 que, copiado á la letra, dice asi:

"Señores:= 1 La Agricultura es sin contradiccion el mas sólido fundamento de la pública felicidad y de la riqueza y poderío de los Estados. De ella dependen absolutamente el comercio, las artes y la poblacion; y por lo mismo se observa que cuanto mas florece aquella y cuanto mas se dilata la esfera de su prosperidad, tanto mas adelantan estas, tanto mas feliz es la Nacion, y tanto mayores son tambien sus recursos.

2 »Por esto es que, considerando á la Agricultura con relacion á las ventajas que proporciona al género humano, no ha podido ménos de mirarse en todos tiempos como el manantial inagotable de la prosperidad pública. Ella acude con cuanto es preciso para el alimento y demas necesidades de todos los vivientes, y ofrece á las artes los innumerables productos que emplean para dar ocupacion á millones de brazos, de máquinas é instrumentos, destinados á la industria manufacturera, sin dejar por eso de suministrar al comercio muchos artículos que, trasportados á todas partes segun el pedido y las necesidades de los Pueblos, reportan á la nacion que los produce, las mayores y mas considerables ventajas.

3 »Si consideramos sus buenos efectos en el órden político y nos contraemos á nuestra España, hallarémos que los labradores componen y deben componer la parte mas numerosa y robusta de la poblacion: si atendemos al órden físico, no podemos dejar de conocer que la Agricultura constituye una ciencia, cuyos conocimientos difícilmente pueden alcanzarse; siendo tambien un arte tanto mas complicado cuanto son infinitos los pormenores á que desciende; y por fin, si la miramos por la parte moral, presenta siempre un atractivo tan poderoso que conduce á los hombres, como por encanto, hácia tan inocente ocupacion. Por esta causa, se advierte que el arte de cultivar la tierra, para hacerla producir cuantos frutos pueden sacarse de ella, así como lo correspondiente al cuidado y multiplicacion de los animales domésticos, útiles al hombre, ha llegado en otras Naciones á un grado de perfeccion verdaderamente admirable; y aunque no se haya quedado estacionario en España, es preciso confesar que no les igualamos en lo adelantado de la ciencia, porque nos faltan muchos de los medios de que aquellos han sabido rodearse para adelantar á su gusto.

4 »Esta falta de medios, unida á otras mil y mil causas, de que han hablado con tanto acierto los Moncadas, Osorios, Navarretes, Saavedras, Jovellanos, Campomanes y otros muchos Españoles celosos y amantes de su Patria, exigen como de justicia el que nos ocupemos en recordar de tiempo en tiempo sus acertadas idéas, y que tratemos tambien de manifestar á su vez las prácticas y conocimientos adquiridos en estos últimos tiempos, para adelantar nuestra Agricultura y aumentar de un modo positivo la riqueza general del Estado, y la particular de los individuos que le componen; procurando se cambie el aspecto horrible que ofrecen los terrenos eriales é incultos, no tanto por carecer de brazos y capitales, cuanto por la falta de riego que los fertilice, dejando pasar las aguas, de los mas caudalosos rios hasta el mar, sin haber pagado el tributo que debieran ni aun á los mismos terrenos que esterilizan con sus debordaciones.

5 »La espantosa aridez y esterilidad que se nota en la mayor y mas preciosa parte del Reino; la ninguna seguridad que por falta de lluvias oportunas, tienen los labradores de recoger cosechas que premien sus fa-

ellas; luego si se llega á establecer un sistema, por el cual se consiga el *poder regar en España toda clase de terrenos*, cualquiera que sea su localidad, deberá considerarse como el mayor triunfo para

---

tigas y sudores en las Provincias mas privilegiadas por su apacible clima y feraz terreno; el desaliento que infunde en toda la parte meridional de España la sequedad, aumentada por los ardores del Sol, sin haber cosa que le temple y sin poder por lo mismo dar estension á las labores, son otras tantas poderosas causas para que no solo no se adelante lo que debiera en la industria rural, sinó tambien para que no se hagan en el cultivo las variaciones y mejoras que pudieran hacerse, y reclaman los conocimientos del dia, adoptando y naturalizando en nuestro continente las producciones exóticas y dando el lugar que corresponde á las especies nuevas de plantas que aumentarían estraordinariamente los frutos y los recursos de nuestro suelo.

6 «Los Escritores políticos mas juiciosos, así naturales como estranjeros, convienen en que la época mas feliz de nuestra España se fija hácia el tiempo en que empezó á dominarla el Señor Don Carlos I. La abundancia y baratura de sus esquisitos y variados productos; su numerosa poblacion; su gran marina, su comercio activo y casi esclusivo, segun la estension de que gozaba; las vastas posesiones en las Américas; sus ricas minas de oro y plata, con otras innumerables ventajas que la ofrecían sus sabias leyes y las inocentes costumbres de los fieles y leales Españoles, son los rasgos característicos, con que nos dan á conocer aquella feliz época, y por los cuales puede formarse la justa idéa de la ventura que gozaría nuestra Nacion durante aquel tiempo memorable. Entónces aun estaban presentes á nuestros cultivadores, los escelentes modelos de prácticas rurales que les dejaron los Arabes en su Agricultura nabatéa; y una multitud de campos, abandonados hoy á la esterilidad, les rendían los mas copiosos frutos, mediante el riego que los fertilizaba. Las ventajas que aun logran en el dia los terrenos regables de Granada, Murcia y Valencia, son otras tantas pruebas de la verdad que queda sentada, así como son tambien unos perpétuos acusadores de nuestro descuido por no haber seguido el ejemplo de los moros en esta parte, y haber dejado de emprender y seguir con constancia otras muchas obras de igual naturaleza, las cuales hubieran cambiado la faz de nuestra Agricultura, y aumentado de dia en dia el valor de las heredades, no ménos que la cantidad de las producciones.

7 «Desgraciadamente se descuidaron en esto nuestros mayores; se olvidaron tambien en mucha parte las buenas prácticas agrarias, se disminuyeron demasiado las subsistencias y con ellas la poblacion, y por espacio de cerca de dos siglos se agolparon sobre la Agricultura y sobre sus agentes una porcion de males, que si bien reconocían su desastroso orígen en una multitud de causas diferentes, aceleraron estraordinariamente su decadencia; en tal manera, que toda la Nacion estuvo á punto de verse cubierta de una pobreza esterminadora.

8 «Finalizado aquel periodo de desgracias y calamidades; despertado el Gobierno del adormecimiento en que estaba sin poder ni querer oir los clamores con que los buenos hijos de esta desventurada Patria, le anunciaban el riesgo y consecuencias de tan triste suerte, se dieron los primeros pasos para remediar los males, y hácia principios del siglo 18 ya se empezaron á percibir los crepúsculos de un claro y venturoso dia, que anunciaban á nuestra España un porvenir dichoso. La maravillosa actividad, desplegada desde entónces en todo el ámbito de la Nacion; los felices esfuerzos del Gobierno para reanimarla, ó mas bien dar al Estado una nue-

nuestra Agricultura; y si á esto se reune la circunstancia de que los medios que se empléen para este importante objeto, *sirvan al mis-*

---

va vida, procurando á toda costa reparar los males causados en casi dos siglos, llenaron de admiracion á los hombres mas sabios y meditabundos de los tiempos modernos.

«¿Y cómo podían dejar de admirarse aquellos esclarecidos Españoles, que en pocos años vieron cambiar totalmente el aspecto horrible de su Nacion, tornándose en actividad la desidia, y en celo puro el abandono en que yacía? La aplicacion y laboriosidad que el Pueblo Español empezó á desplegar por el año 1700, y que ha continuado con aumentos hasta nuestros dias, á pesar de mil acontecimientos contrarios, reconoce su orígen en el fácil acceso y en la aplicacion provechosa que tuvieron entre nosotros las luces de una sana ilustracion, que, penetrando por todas partes, disiparon las tinieblas y arrojaron léjos de este suelo la preocupacion y las desgracias que nos dejaron por herencia nuestros abuelos.

9 «Todos conocen que la feracidad de este suelo, favorecido por el hermoso clima que nos concedió la Providencia es una mina tan abundante de riqueza que jamas puede verse agotada, y para cuyo beneficio no se necesitan grandes empeños. La sábia prevision con que el amor de nuestro Soberano (que Dios guarde) hácia sus amados vasallos ha removido muchos de los estorbos que se oponían á los adelantamientos del cultivo, estension del comercio y progreso de las artes, ha esparcido mil bienes y va cogiendo el fruto de sus providencias acertadas. Y si bien es verdad que una porcion de acontecimientos desastrosos y circunstancias poco favorables han contribuido para que la Agricultura no haya logrado todo el lleno de ventajas que es preciso disfrute para prosperar mas y mas cada vez, tomando el vuelo magestuoso que debiera tomar para aparecer en el mundo con toda la estension y brillo de su grandeza, por carecer de uno de sus principales beneficios, no por eso ha dejado S. M. de pensar mas de una vez en ello, esto es, en dar la mayor estension posible á los riegos, ya sea aprovechando las aguas de los rios y arroyos mas ó ménos caudalosos, ya recogiéndolas en pantanos de modo que no puedan temerse daños, y ya en fin buscándolas en el centro de la tierra para derramarlas despues sobre la superficie, cuya aridez y sequedad nos priva de las mas esquisitas y necesarias producciones.

10 «Casi tres siglos han pasado en que sin cesar se habla de la necesidad de dar el riego conveniente á muchos y feracísimos terrenos de nuestra España, y otros tantos han trascurrido sin haber sacado el fruto que pudiera y debiera sacarse del copioso caudal de nuestros rios y de los innumerables proyectos que, presentados en diversas épocas al Gobierno, han quedado sin efecto, ó sepultados en el olvido, gloriándose el genio del mal en haber frustrado las mas buenas disposiciones de los Soberanos, y entorpecido la continuacion de las grandiosas obras comenzadas con este objeto.

11 «Con gusto me detendría yo ahora en poner de manifiesto las miserables pasiones y los fines siniestros que fueron las causas principales para oponer obstáculos, introducir la desconfianza y paralizar unas empresas de tan conocido provecho, pues para demostrarlo completamente no me faltarían datos positivos sin mas que registrar la historia de los pocos canales que hay comenzados y ojear algunas páginas de varios escritos no muy antiguos en los cuales se descubren la intriga, el sórdido interes y la maldad que ha jugado las mas veces en este negocio: estos escritos y las obras mismas acompañadas de los proyectos útiles y de los hombres arruinados, me sacarían del apuro, y acaso con poca satisfaccion de algunos, si me empeñase en demostrarlo. Tambien me ocuparía en indicar los medios

mo tiempo, sin aumentar considerablemente los gastos, para establecer la navegacion interior, producir abundante y esquisita pesca,

---

que á mi parecer, pudieran emplearse para aprovechar las aguas, y á beneficio de caces y canales puramente de riego, lograr el inapreciable bien que estos producen; pero no siendo del caso entrar en la demostracion de lo primero, y muy difícil resolver lo segundo, me limitaré á *indicar las ventajas que resultarían necesariamente á la Agricultura y al Estado, si tuviésemos la dicha de ver realizados los altos y gloriosos designios de S. M. y de sus sabios Ministros, sobre tan interesante punto.*

12 »Bien conozco, Señores, que solo el aspirar á la demostracion de un punto tan importante y delicado toca en los límites de la temeridad, despues de haber hablado sobre lo mismo, aunque no como agrónomos, sinó bajo otro aspecto, los hombres mas sabios que ha tenido la Nacion. Mas como en la resolucion que me he formado para presentar en este dia mis idéas sobre un objeto de tanta gravedad y trascendencia, tiene mas parte el buen deséo y la obligacion que me impone mi destino, que la confianza del acierto, considero que no deben arredrarme los temores y el desaliento que necesariamente ha de producir en mí la consideracion de los conatos frustrados en tantos otros designios como el mio, presentados y publicados en tiempos diversos por varios escritores eminentes.

13 »El dulce nombre de Patria (decia un Sabio y yo lo repito con sus palabras) que conserva en España, para quien sabe cuanto la debe, toda la fuerza maravillosa que se dió á su significado en Atenas y en Roma; los caros y preciosos nombres de Estado y causa pública, la tierna é inestimable bondad paternal de un Soberano que se desvela incesantemente por la felicidad de sus vasallos; el celo en fin, de los dignos depositarios de su confianza suprema, son otros tantos poderosos motivos que bastan por sí solos á infundir en mi espíritu, ya demasiado debilitado por la edad y los padecimientos, el vigor necesario para abrazar el difícil problema que me he propuesto resolver en este breve rato, y demostrar del modo mas claro posible las innumerables ventajas que resultarían si se lograse regar los estensísimos terrenos baldíos y demas que pueden regarse en nuestra península.

14 »Sin agua no hay vegetacion. Este fluido elástico que tiene la propiedad de pegarse á la superficie de los cuerpos que toca, penetrar el mayor número y combinarse con ellos, diluirlos ó disolverlos, es tambien el agente mas universal de cuantos concurren á la produccion de los séres que existen en la naturaleza. Los vegetales deben al agua su desarrollo, su acrecentamiento y su vida, y los minerales no llegarían jamas á formarse si el agua no disolviese, acarrease y reuniese todos aquellos principios que los constituyen. La sangre de los animales, la sávia de los vegetales no es, por decirlo así, mas que una agua cargada de otros principios que mantiene en disolucion. Vehículo de todos los ácidos, de todos los gases, de todas las sales y de todas las tierras, es de una importancia universal y ofrece los mas grandes servicios de cualquier modo que se la considere.

15 »El agua no solamente comunica á los animales y á las plantas el movimiento vital, sinó que no hay especie alguna de aquellos y estas que no comience su existencia en un estado líquido, y por lo mismo se comprueba que nada se obra en los cuerpos vivientes que no sea por medio del agua. Los humores, cualesquiera que sean, no recibirían la fluidez necesaria, si el agua no conservase en disolucion las materias que contienen. En fin, la nutricion y la generacion de los séres organizados, estas funciones tan importantes en la economía viviente, no pueden ejecutarse sinó con la intervencion de los líquidos: por eso vemos que tanto los animales como

y el que el agua restante sirva de motor á las máquinas en los establecimientos de industria, tendrémos reunidas todas las ven-

---

los vegetales, se multiplican y propagan extraordinariamente en aquellos parages en donde el agua fertiliza y riega mas la tierra. Considérense sinó esos terrenos áridos de la Arabia; vuélvanse los ojos á las horrorosas soledades del Africa, ambas regiones enteramente privadas del agua, y verémos que no presentan otra cosa que un mar inmenso de arena donde nada vive, nada vegeta: la tierra del todo desnuda por su estremada aridez no ofrece el menor vestigio de animales, ni plantas; solo se encuentra una arena movediza que estravia al viagero para que perezca de sed.

16 »Mas ¿para qué me canso en referir las propiedades del agua en comprobacion de su absoluta necesidad para la formacion, acrecentamiento y conservacion de todos los séres? No hay persona que deje de conocer las ventajas que ofrecen los riegos para beneficio de las tierras, y lo que aumentan la produccion en aquellas á las cuales alcanza este beneficio; y todos saben ya que la humedad y el calor son dos de los mas poderosos agentes de la vegetacion. Bajo estos principios ¿cómo podrá dudarse de las utilidades que reportaría la Agricultura y el Estado, facilitando los medios, y allanando los obstáculos que se han opuesto ó puedan oponerse al aprovechamiento de las aguas de los rios, arroyos, manantiales y demas que por diferentes procedimientos puedan adquirirse para estender su benéfico influjo sobre los inmensos terrenos de nuestra Península que, ó no producen cosa alguna ó producen infinitamente ménos de lo que debieran producir? Con razon decia el Padre Buriel en su carta á don Carlos Simon Pontero, escrita en 1755. "Vocea estas utilidades la naturaleza, cuyo Soberano autor »cruzó de rios y arroyos, y pobló de fuentes y manantiales la super»ficie de la tierra, para que los hombres con su industria hagan ser»vir sus dones á las necesidades de la vida; y esto mismo clama la »esperiencia en todos los Pueblos y Naciones del mundo. Sería menes»ter un grueso tomo, para juntar lo que sobre esto nos ofrecen los »tiempos pasados y presentes. Desde los Egipcios, que no contentos »con la navegacion y riego de su rio Nilo, abrieron enormes fosos y »canales para juntar el comercio del mar rojo y del mediterráneo, mas »de mil años ántes de Nuestro Señor Jesucristo, hasta nuestros tiem»pos, no ha habido Nacion alguna de mediana Policía, que no haga »de los rios el mismo uso, y que no haya formado canales para »la navegacion y para el riego. Esto ha sido ántes, y esto vemos hoy »en todos los reinos de Europa. La China no es ménos abundante en »canales costosísimos que los Paises Bajos. Los Incas del Perú, los Meji»canos y los Indios de 600 leguas al Norte de Méjico tenian canales grandes »para el riego de sus tierras, cuyos restos duran aun sin uso alguno."

17 »Con efecto, la Historia nos pone de manifiesto muchos canales de navegacion y riego, y nos trasmite la noticia de los muchos acueductos y reservatorios ó depósitos que los antiguos Soberanos de Egipto, de Grecia, y de la India, habian hecho construir, con grandes expensas, para llevar el agua á las ciudades mas populosas, y para regar los terrenos mas fértiles. Los Romanos aprendieron de los Griegos y Egipcios, cuanto fué necesario para introducir en Italia el sistema de riegos que tantos prodigios hacía en aquellas industriosas naciones, mirando este beneficio como uno de los mas útiles troféos de sus victorias. La Historia Romana está llena de descripciones de los canales y acueductos que en este pueblo conquistador edificó sobre su propio suelo,

tajas que se pueden apetecer. Tal es el objeto que me propongo en la presente obra. La empresa es árdua; pero como á la par de las dificultades que puede presentar su ejecucion, son asombrosamente

en las Galias y en España. Los buenos Españoles, que escitados por el amor á su pátria, escribieron sobre las causas de la decadencia en que se halló la España al fin del reinado de Felipe III pasando en pocos años del sumo poder y riqueza á la suma pobreza y abatimiento, manifestaron como uno de los medios mas precisos para remediar el mal, la formacion de canales de navegacion y riego, y no dejaron de presentar sus pensamientos sobre la distribucion de las mismas aguas para que fertilizasen la mayor estension de terreno posible. Entre aquellos sabios y celosos patricios, descolló mucho sobre este punto don Sancho de Moncada, el cual en el discurso 7.º de su Restauracion Política de España, trata con el mayor interes de que se saquen acequias de todos los rios, y para ello reproduce las idéas antiguas corroborándolas con las suyas propias sobre tan interesante objeto.

»¡Y como pudieran dejar de hablar así unos Sabios tan eminentes, cuando ellos conocían, como nosotros conocemos, que, en cualquier país del mundo, el riego no solo es el principal agente de que puede valerse el cultivador para fertilizar la tierra, y hacerla producir abundantemente, sinó que dando lugar á trabajos y operaciones repetidas es el manantial mas inagotable de la prosperidad pública!

18 »¿No es al riego bien dirigido á lo que deben su fertilidad y esa vejetacion asombrosa las ricas alquerías de Flandes, y la opulencia que disfrutan sus habitantes? En aquel país fertilizado por el riego, ni el terreno ni los habitantes reposan; casi todo él entre-cortado de regueras y la tierra laboreada como conviene, les rinde cinco cosechas en el periodo de dos años. Lo mismo sucede en Holanda, cuyo terreno cruzado por una multitud de canales, diques y fosos, y no obstante hallarse situado en un clima septentrional goza siempre de una eterna verdura, y de una produccion siempre renaciente. En nuestra España pueden citarse tambien con elogio varios distritos de las provincias de Granada, Murcia, Valencia, Aragon, Cataluña, Navarra, Rioja y Castilla la Nueva, en las cuales admiramos la fertilidad y la abundancia que presentan, al paso que en todo lo demas del Reino hasta se ignora el uso económico del agua en regadíos.

»Y á la verdad ¿á quién no asombrará el aumento de riqueza y prosperidad que lograría la España, si por alguna de las muchas medidas que puede tomar el Gobierno, y en cuyo pensamiento no deja de trabajar incesantemente, se derramase el beneficio del riego, no solo sobre los terrenos que hoy se cultivan, aunque con poco suceso en muchos de los años, como lo testifican los contornos de Madrid, ese Real Sitio del Buen Retiro, este Jardin Botánico que perece, y se aniquila por falta de agua, sinó tambien sobre los inmensos baldíos y eriales que nada producen actualmente; y en los cuales se pudieran entónces establecer los cultivos mas lucrativos y de toda especie, como son arbolados, los prados artificiales y otros de que tanto necesitamos? *Quien hallase el modo de remediar tanta esterilidad, proporcionando el regadío de los terrenos, sería digno de los mayores elogios, y acreedor á las mayores recompensas.*

19 »Si es un axioma recibido ya como tal en Inglaterra, que donde hay agua (no dicen ni mucha ni poca, sinó estrictamente donde hay agua), se puede establecer la navegacion, mucho mejor puede decirse

estraordinarias las ventajas que ha de producir en España un trabajo de esta naturaleza, y por otra parte á mí nada me arredra cuando se trata de promover la felicidad de los beneméritos Espa-

---

que donde hay agua puede establecerse el riego, fundando en él un cultivo esmerado y de resultados positivos.

20 »Para conocer bien la suma utilidad de los riegos, y por este conocimiento decidirse á emprender las obras necesarias, sin arredrarse por los gastos anticipados que pueden causarse, debe saberse que en el reino de Valencia las tierras de riego valen quince y veinte veces mas que las de secano, aunque estas estén regularmente arboladas.

»Ni se crea que es una exageracion el decir que las tierras aumentan quince ó veinte veces su valor por el riego, pues este aumento está seguramente en la menor proporcion que puede darse, con respecto á la que guarda en alguna otra de nuestras Provincias. El celoso é infatigable agrónomo don Ramon de Zubia, que tantas pruebas tiene dadas de amor á su pátria, y á quien no puedo ménos de citar con elogio por el interes puro y eficaz con que deséa ver á nuestra España rica y opulenta, en un plan que remitió al Gobierno desde París en 1815, y que despues manifestó al Excmo. Sr. don Martin de Garay, siendo Secretario del despacho universal de Hacienda, en cuyo plan trataba su autor de los medios que creyó oportunos para mejorar la riqueza y lograr la prosperidad de España por medio del riego, asegura que por un apéo, últimamente hecho en el reino de Murcia, aparece que la fanega de tierra de secano vale 300 reales vellon, y la que se halla en los huertos de regadío 48∞.

21 »Por este dato se ve que las tierras aumentan 160 veces su valor por el riego en aquella provincia, y así no es estraño que yo diga con el mismo Zubia, que todo cálculo, toda comparacion, que se haga del valor de dichas dos tierras traspasa los límites racionales.

22 »Y siendo tan fácil establecer generalmente el riego mediante lo mucho que se ha adelantado en los medios de sacar las aguas de los rios, arroyos y demas sitios en que se encuentran, conduciéndolas con grande economía y aprovechamiento de las mismas sobre los terrenos que deben fecundizar, ya haciendo uso de las máquinas mas sencillas ó mas análogas al proyecto y localidades, ya construyendo obras no muy costosas, pero mas arregladas y seguras que nunca, y ya en fin taladrando la tierra por medio de la sonda ó barrena del fontanero sondeador, para formar las fuentes ascendentes, es un dolor que no se hable todos los dias en las Cátedras, en las tertulias, en los cafés, en los paséos y en todas partes sobre este punto; que no se recomienden semejantes empresas, y que no se ejecute lo necesario para lograr las ventajas que nos ofrece el sistema general de riegos. Es cierto que no puede hacerse todo de una vez; pero tambien es cierto que lo que no se principia no puede acabarse, ni conseguirse lo que no se emprende.

23 »Para demostrar mas claramente las ventajas que dejo anunciadas; para poner en movimiento las ideas que están amortiguadas en este punto; para escitar la noble emulacion de los Sabios; y por último, para que los que tienen algunas sumas en metálico que apenas encuentran donde emplearlas de modo que no las pierdan y les reporten un interes justo puedan hacer un servicio á la pátria, y á sí mismos, voy á manifestar lo que yo entiendo relativamente al aumento de riqueza que el Gobierno y los particulares lograrían con establecer un sistema general de riegos para fertilizar los campos, y aprovechar los terrenos

ñoles, no he omitido diligencia alguna que pueda contribuir á tan importante objeto: bien persuadido de que, en lo que yo no acierte á

baldíos á que por depronto pueda alcanzar este beneficio; y para ello tomaré los datos en grande.

24 »Si admitimos (como parece podemos admitir) que el territorio peninsular de nuestra España alcance á doscientos diez y seis millones de fanegas de tierra, tomando por término medio la fanega de 400 estadales de á 10 pies, ó lo que es lo mismo de 40𝔇 pies cuadrados de superficie, pues las hay desde 20𝔇 hasta 86𝔇400, tanto que causa la mayor confusion el desórden que en este punto se esperimenta, y que solo 51 millones de las mismas sean las que en el dia se cultivan, dirémos que quedan aun 165 millones por cultivar. Rebajemos de estos 165 millones de fanegas las dos terceras partes, si se quiere, por razon de lo que ocupan las montañas, los rios, lagos, caminos, poblaciones, montes, &c. que á buen seguro no es tanto, y tendrémos que nos quedan 55 millones de fanegas de tierra en un estado erial ó yermas, que nada producen. Estos 55 millones de fanegas de tierra erial ó baldía, unidas á los 51 millones, que están en cultivo, componen la suma de 106 millones. Supongamos que de ellas los 6 millones (que no los hay, porque entónces seríamos mas ricos), son ya de riego en el dia, todavía nos quedan 100 millones de fanegas de tierra que poder beneficiar con el riego, y lograr por su medio el aumento considerable que deben tener en sí mismas, y en los productos que deben rendir, como lo vamos á demostrar.

25 »Hemos dicho poco ántes que una tierra cualquiera de secano aumenta su valor por el riego sobre 15 ó 20 veces á lo ménos, y aun se ha visto que las hay tambien que le aumentan 160 veces como son las de los huertos del reino de Murcia. Supuestos estos datos, es indudable que si por un término general consideramos á todas las tierras de secano comprendidas en los 100 millones de fanegas, un valor de 200 reales fanega, el valor total de ellas será 20𝔇 millones de reales.

26 »Dado ya á dichas tierras el beneficio del riego, la fanega que ántes valía 200, no puede despues justipreciarse en ménos de 2𝔇 reales, y en este caso las que ántes valian 20𝔇 millones, ahora mediante el riego, valen 200𝔇 millones.

27 »Graduemos que para dar el beneficio del riego á los terrenos secanos, y tomando la empresa en grande, como la tomamos para tener dato fijo, haya que gastar 25𝔇 millones de reales, los cuales unidos á los 20𝔇 que representaban las tierras en su estado primitivo, forman una suma de 45𝔇 millones de reales, que rebajados de los 200𝔇 millones que valen las mismas tierras despues que tengan el riego, queda todavía un aumento de riqueza territorial de 155𝔇 millones de reales: suma que equivale á un 344 $\frac{4}{9}$ por ciento de beneficio. Rebájese si se quiere alguna parte, que ciertamente no hay por qué; siempre vendrémos á parar que la riqueza pública ó del Estado, y la particular del individuo habrá crecido en mas de un 300 por ciento.

28 »A la par de este aumento caminarán tambien los productos, y con ellos la poblacion, hasta llegar á los 30 millones de habitantes que puede cómodamente mantener nuestro suelo. Y si bien los colonos y los meros cultivadores no pueden contar para sí con iguales aumentos porque á medida que duplican ó triplican las cosechas en los terrenos de regadío, y aseguran por este medio el fruto de sus sudores, lo cual hace tambien que se les imponga mayor cánon ó renta por la heredad, tienen que duplicar ó triplicar los trabajos, los cuidados, los abonos,

desenvolver debidamente, otras personas, no mas celosas por el bien del Estado, pues en esto nadie me puede ganar, pero sí de mas pro-

---

semillas y demas gastos necesarios para el cultivo. Por manera, que el Estado y los propietarios son los que verdaderamente reciben por entero el aumento de riqueza que se demuestra, y así son los que mas deben interesarse en que se realice de un modo ó de otro, tan importante proyecto. Los gastos que se puedan ocasionar para establecer el sistema general de riegos que proponemos y deseamos, no deben cargarse sobre los colonos imponiéndoles un rediezmo ú otra gabela equivalente, porque en tal caso pagarían estos toda la obra, y los propietarios, que son los verdaderamente beneficiados, porque aumentan el valor de sus fincas, quedarían enteramente libres, con la mas notoria injusticia: auméntese al cultivador proporcional y moderadamente la renta, llevando en consideracion el cupo que repartieron á la finca por razon del gasto causado para darla el riego, en comunidad con otras muchas; pero mírese que este aumento es perpétuo, y el desembolso mas ó ménos crecido se hizo una sola vez. Al Gobierno toca moderar los impulsos de injusta codicia que en tales casos pudieran presentar los propietarios, y hacer así aborrecibles los riegos, como sucede en el dia con los mas de los que hay en algunos puntos.

29 Para hallar capitales, para que no falten empresarios que tomen á su cargo las obras, sean de la naturaleza que fueren, destinaría yo el aumento que deben tener las rentas decimales, ó bien la mitad de estos mismos aumentos, quedándose el Gobierno con la otra mitad para sus urgencias hasta tanto que los empresarios se hubiesen reintegrado de su capital y réditos justos, segun las condiciones de las contratas respectivas, y segun el Gobierno determinase. La seguridad de esta renta ofrece desde luego la hipoteca mas apreciable que puede presentarse á los licitadores, ya sean compañías, corporaciones ó individuos particulares, y bajo semejantes garantías es bien cierto que no faltarían capitales y actividad que convirtiese prontamente el reino en un ameno jardin.

30 Hay cosas que parecen imposibles á primera vista, pero que examinándolas con la debida atencion, madurez é imparcialidad, y despejando la incógnita con los debidos conocimientos para ello, se encuentran despues mucho mas fáciles de lo que se imaginaba: el pensamiento que acabo de proponer, es precisamente de esta naturaleza.

31 Si solo se atiende á los inmensos gastos hechos ántes de ahora para dar riego á una pequeñísima porcion de tierra, comparada con la enormidad de 100 millones de fanegas que abraza nuestro cálculo, y se observa que casi todos aquellos se han malogrado ó no han producido las ventajas que de ellos se proponían, seguramente se graduarán de inútiles mis indicaciones, y mas si se crée que toda el agua de nuestros rios, arroyos y manantiales no alcanza para fertilizar una vigésima parte de los terrenos propuestos. A uno y otro respondería yo diciendo: que el malogro de muchos proyectos de esta clase en nuestra España, y el no prosperar los pocos que en el dia subsisten, ha dependido y depende aun de la falta de los conocimientos indispensables para establecerlos y dirigirlos; de la falta de equidad con que gravitan esclusivamente sobre los miserables, que riegan antes la tierra con su sudor y sus lágrimas que con el agua; de la falta de probidad y buena fe con que algunos se han hecho, y de no haber sabido hallar los medios de evitar tantos males, y conseguir los buenos resultados que se apetecían.

32 El caudal de aguas necesario para dar riego á una inmensidad de

fundos conocimientos, ó mas afortunadas, podrán perfeccionar lo que yo deje incompleto; y si por este medio se consigue mejorar la suerte

terreno, no falta ni puede faltar en la Península; solo se necesita saber buscarlas, dirigirlas y aprovecharlas con arreglo á los muchos adelantamientos que se han hecho en el dia, tanto en la Geología como en la Geognosia, y cuyos conocimientos poséen muy bien los Españoles aplicados al estudio metódico de la Mineralogia. El ilustrado don Cristobal Bordiú, alumno de los mas sobresalientes que se han formado bajo la sabia direccion de mi digno compañero y amigo Don Donato García en su Cátedra de dicha ciencia en el párrafo segundo de la advertencia que puso á su traduccion de la obra de Garnier, sobre los pozos artesianos ó fuentes ascendentes, dice con tanta valentía como verdad. "Fácil es conocer que si hay algun pais en Europa donde estas »fuentes ofrecen ventajas incalculables, es precisamente en España. Un »clima dulce y benigno favorece en ella la vejetacion de innumerables »plantas; pero la escasez de lluvias burla de contínuo las esperanzas del »labrador, el cual en muchos parages, aunque tiene el agua bajo sus »pies, no puede hacer uso de norias para riegos artificiales, ya por el »coste que ocasionan la manutencion y conservacion de los animales des»tinados únicamente á este objeto, ya porque la profundidad á que se »halla el agua hace impracticable el establecimiento de esta útil y sen»cilla máquina."

33 »Siendo esto cierto, como efectivamente lo es, no carece tampoco de la misma certidumbre el que pueden y deben regarse los inmensos terrenos, que hoy no fructifican sinó á medias, ó nada por falta de este vehículo; y supuesto que los arbitrios propuestos son mas que suficientes para proporcionar los caudales ó fondos necesarios para el logro de tan grande empresa, no hay mas que resolverse y dar los primeros pasos para acometerla, bien seguros de que los felices resultados serán el premio del talento con que se establezca y de la constancia con que se siga.

34 »El prodigioso aumento, que dado el riego á las tierras y extinguida para siempre su aridez, deben tener los diezmos y derechos decimales, será de tanta cuantía que faltarán guarismos para espresar su suma; mas para formar alguna idéa, aunque imperfecta, de tan importante beneficio, bastará saber que el diezmo de la Baronía de Sollana, cuyos terrenos fecunda hoy el agua de la Real acequia de Alcira, mediante los desembolsos hechos por los Excmos. Sres. Duques de Hijar, ántes de llegar allí el agua, valía anualmente 3500 libras, y otras 3500 el tercio diezmo y primicia, cuyo total componía la suma de 7Ɖ libras al año; y despues que aquellos mismos terrazgos se beneficiaron con el riego ascendió á 13Ɖ y mas libras el diezmo y otro tanto la primicia y el tercio; de modo que pasan de 26Ɖ libras ó pesos la renta anual que por solo el riego ha percibido y está percibiendo en el dia la casa de S. E. La villa encomienda de Silla, cuyo diezmo, tercio y primicia valía unos 3500 pesos, ántes de llegar á ella el agua, vale en el dia sobre 8Ɖ pesos en arriendo, y los derechos dominicales que ascendían entónces á 3700 han subido, aunque tambien por arriendo, hasta 13Ɖ pesos por el riego.

35 »No me parece sea necesario aglomerar mas pruebas, ni esponer mas razones para persuadir á un auditorio tan ilustrado lo interesantísimo que es y debe ser siempre para el bien del Estado el emprender á todo trance la grande obra de dar riego al mayor número posible de fanegas de tierra. El objeto se recomienda por sí mismo, y la posibilidad de lograr el bien que se apetece está demostrada. Esto no obstante, acaso no faltará quien diga que he aventurado mucho con emitir mis pensamientos y mi

de los dignísimos habitantes de este pais, que es lo que mas deséo, tendré el consuelo, al descender al sepulcro, de no haber sido

---

opinion en un punto tan delicado y trascendental; pero si bien convengo en que idéas de tanta magnitud piden unos conocimientos muy superiores á los mios, tampoco dudo que si las indicaciones hechas en este discurso no mereciesen una aprobacion general, tendrán al ménos una benigna acogida de los Sabios, por el celo que me ha movido á proponerlas en favor de mi pátria.

36 »El riego dado á los campos que no le tienen, es el que puede proporcionarnos un círculo tan grande de bienes naturales y hacer fecundísimos y eficaces todos los medios de labrar la felicidad de la España. Beneficiada así la Agricultura, ocupará ella sola los muchos brazos que hay perdidos dedicados al ocio y á la vagancia. Los estranjeros honrados, que miran á la España con una predileccion particular, se nos vendrán sin duda con su industria y con sus capitales, atraidos por el bien estar que proporcionaría la abundancia, baratura y prosperidad de este pais querido de la Providencia.

37 »Con efecto, ¿qué medios mas eficaces podrán proponerse para labrar nuestra ventura, que el abrir las puertas espaciosas de la abundancia y de la fertilidad que encierra nuestro privilegiado suelo, estinguiendo para siempre la aridez y sequedad que le esteriliza en su mayor parte? A mi entender el riego benéfico, derramado sobre los inmensos baldíos y demas terrenos que están clamando por su socorro, colmaría de bienes á esta nacion, y reuniría por decirlo así, todas las riquezas de los reinos mas favorecidos de la naturaleza, con los medios mas espeditos para mantener constantemente la posesion de ellas. ¡Y que dicha sería para el vasallo fiel, si aliviado del excesivo peso de las cargas que le oprimen, se contase desde luego dueño de casi todo el fruto de sus sudores! ¡Que satisfaccion gozaría el Soberano viéndose al mismo tiempo enriquecido por la general abundancia en que viven sus pueblos!

38 »Por mi parte estoy íntimamente persuadido de que si los Egipcios no hubieran formado sus grandes lagos y construido sus canales para fertilizar los dilatados terrenos que riegan, jamas hubieran tenido los monumentos de comodidad pública y mucho ménos los que han dedicado á la ostentosa vanidad para recibir despues el soberbio renombre de maravillas.

39 »A vista de esto ¿quién será ya el que no se apresure á corregir, ampliar y presentar con mas exactitud que yo unas idéas que interesan tanto para lograr el cúmulo de bienes que nos ofrecen unas obras de esta naturaleza? ¿Quién no apetecerá con ansia ver á nuestra amada pátria gozar de lleno las felicidades de que puede gozar? ¿Quién no empeñará gustoso para con el Soberano todo el celo de sus ruegos y toda la eficacia de sus votos hasta lograr una trasformacion tan dichosa?

40 »Si tuviese yo la fortuna de llegar con los mios á los pies del Trono; si lograse la dicha de doblar mi rodilla ante el Monarca, para esponer estos pensamientos á la consideracion de mi augusto Soberano, lleno de confianza y fidelísima veneracion, animado con las mas vivas esperanzas en su Real bondad y paternal amor, diría á S. M.... Conservad, Señor, el precioso tesoro que la Divina Providencia ha depositado en vuestras Reales manos, para haceros el mas feliz de los Reyes de la tierra. Buscad en la abundancia bienhechora de vuestro corazon todos los medios posibles para hacer venturosa la multitud inestimable de criaturas que el cielo dió á V. M. por vasallos y al mundo todo por modelo de la fidelidad y amor debido á sus augustos Soberanos. Haced, Señor, que tantos terrenos estériles como se encuentran en el dia en vuestros dominios entren cuanto ántes

de todo punto inútil mi existencia para promover el bien de mis semejantes en general, y de mis amados compatriotas en particular.

50 Como el fin que me he propuesto, no es el de aglomerar lo que otros han escrito, sinó el de insertar lo que conduzca á nuestro objeto, y que no esté publicado entre nosotros, para evitar repeticiones, supondré conocido todo lo que el mencionado Arias establece sobre esta materia; igualmente supondré conocidos los resultados que acerca de la densidad, peso, &c. del agua, pone nuestro infatigable don Juan Lopez de Peñalver en las importantes adiciones que ha insertado en el tomo 4.° de su escelente traduccion de las *Cartas de Leonardo Euler á una Princesa de Alemania.* Tambien supondré conocido lo que espongo acerca de las propiedades del agua, de su composicion, &c. tanto en el tomo 3.°, parte 1.ª de mi *Tratado Elemental de Matemáticas que contiene la Mecánica*, como en mi *Compendio de Matemáticas y Compendio de Mecánica práctica.*

51 Entre los apuntes que yo tenía escritos para la composicion de esta obra, se comprendían los importantes trabajos de Mr. *Garnier*

---

en cultivo beneficiados por el riego. Gozad vos solo de esta gloria, la mas grande, la mas sublime, mas digna y mas capaz de colmar todas las medidas de vuestro ánimo excelso. Riéguense nuestros campos, y entónces el cúmulo de riquezas que la naturaleza concedió con pródiga mano á las regiones venturosas de vuestro imperio, serán tantas que llenarán de esplendor vuestra corona y exaltarán hasta lo sumo vuestro excelso nombre.

44 »Grandes y pequeños propietarios! hombres acaudalados! señaladas están las fuentes de la prosperidad pública, apresuraos á correr á ellas y bebed hasta saciar vuestros deséos en la inmensa multiplicacion de vuestros caudales, por medios sumamente útiles y generosos, que os colmarán del agradecimiento de las presentes y futuras generaciones. Sabios é ilustres políticos! iluminad con vuestras luces y ayudad al Gobierno con vuestro parecer, sobre el importante proyecto que se presenta hoy de nuevo á vuestras observaciones en el ramo mas principal de vuestra riqueza particular y la del Estado en general. Esta va siempre acompañada del poder y así ninguna nacion es poderosa, si no se mantiene en la opulencia y con una numerosa poblacion, la cual es siempre proporcionada á los medios de subsistir adquiridos por la Agricultura, Artes y Comercio. Labradores! alentad vuestra confianza y depositadla en el mejor de los Reyes nuestro muy amado el Señor Don Fernando VII; esperando con la mayor seguridad que os ha de conceder todas las gracias, todos los beneficios y todas las mercedes compatibles con la generosidad de sus idéas y magnanimidad de su corazon, conciliando vuestros intereses con los del Estado. Acudid á su Real Persona y veréis colmadas vuestras esperanzas y vuestra dicha. Yo entre tanto, como hijo de labrador, como dedicado esclusivamente á la Agricultura, y encargado por S. M. (aunque sin los suficientes méritos) de la enseñanza de tan sublime ciencia, soy el primero que postrado á los pies del Trono imploro las mismas gracias y mercedes á favor de la Agricultura y de los que la profesan, seguro de que un Soberano tan benéfico no despreciará las súplicas del mas humilde de sus vasallos.=Dije.

sobre los pozos *artesianos* ó *fuentes ascendentes*, así como los escritos que Mr. *Hericart* de *Thury* ha leido en el Instituto, en la Sociedad de Agricultura y en la Sociedad de fomento de París. Mas como á mi arribo á Madrid, he hallado traducida toda esta doctrina, y con ciertas ventajas sobre los originales, por don *Cristobal Bordiú*, omitiré gustoso cuanto sobre la materia ya publicada tenia trabajado, y me limitaré á añadir solo aquello que falta en mi concepto para completar esta teoría, y que sirva de regla segura en la práctica.

52 Para proceder con el órden conveniente, dividiré cuanto corresponda tratar en esta obra en los diez libros siguientes.

1.° Calcular el valor del agua que hoy no tiene uso ni aplicacion en España, ya para atender á las necesidades de la Agricultura, ya para que sirva de motor en las máquinas de los establecimientos industriales, ya para que produzca esquisita y abundante pesca, y ya para que sirva al trasporte de los géneros por medio de la navegacion interior.

2.° Resúmen histórico de los conocimientos hidráulicos hasta nuestros dias, indicando las obras mas sobresalientes sobre esta materia.

3.° Recapitulacion de cuantas fórmulas y reglas puedan conducir á que personas de medianos conocimientos hagan aplicacion á los procedimientos hidráulicos, para satisfacer las necesidades administrativas y económicas de los pueblos, y las de la Agricultura, Artes y demas géneros de industria, haciendo numerosas é importantes aplicaciones á la resolucion de las principales cuestiones que pueden ocurrir en la práctica.

4.° Sucinta enumeracion de los inconvenientes que presentan en el dia las obras hidráulicas, y nuevo método escogitado por mí, para este género de construcciones, fundado en la misma naturaleza, mas sencillo, fácil, económico y permanente que todo lo establecido hasta ahora.

5.° Cualidades mecánicas del agua; fuerza motriz que dicho líquido proporciona; y consideraciones acerca del mejor modo de emplear esta fuerza como potencia ó motor en los establecimientos de industria. Recapitulacion de los conocimientos y principios de Mecánica mas indispensables para el establecimiento de las máquinas, y que no se hallan en los libros elementales; teoría de la resistencia y choque de los fluidos; y exámen comparativo del efecto útil que producen las diferentes ruedas hidráulicas. Resolucion de diferentes cuestiones industriales, determinando la cantidad de agua que se requiere, como potencia motriz, para efectuar el trabajo de los principales

la riqueza que pueden proporcionar en abundante y esquisita pesca; en el 4.° determinarémos la utilidad que pueden rendir empleadas en la navegacion interior para el trasporte de las mercancías; y en el 5.° deducirémos el total resultado, manifestando que el empléo en uno de estos objetos, no impide el de los otros, sinó que, al contrario, las obras que se hagan para conseguir ventajas bajo uno de estos puntos de vista, sirven al mismo tiempo para conseguirlas en los demas. Pensábamos añadir otro capítulo en que diésemos á conocer el influjo que este aumento de riquezas puede originar en la poblacion; pero como estas consecuencias se deducen naturalmente, nos abstendrémos de hacer ninguna reflexion sobre este particular.

CAPÍTULO PRIMERO.

Cálculo del aumento de produccion que recibiría la Agricultura, estableciendo el regadío en la mayor parte del territorio español.

3 Por el sistema que me propongo establecer en este Tratado, aspiro no solo á proporcionar el regadío á la mayor parte del territorio español y con muy pocos gastos, sinó que se estienden mis designios hasta el punto de cambiar en gran parte el clima de España, y que en vez del aspecto estéril que presenta por lo general, hacerle aparecer, no solo como un vergel el mas ameno, frondoso y agradable, sinó hacer húmedo este pais tan seco y árido, convirtiendo nuestras provincias centrales y meridionales en tierras que disfruten de una humedad análoga á las del norte de España; y si logro en todo ó en parte el importante, grandioso y filantrópico objeto que me propongo, dejo á la consideracion de los inteligentes el que deduzcan por sí mismos las ventajas que de esto reportarán los Españoles. Sin embargo, me corresponde hacer algunas indicaciones sobre este particular.

4 Afortunadamente, el sapientísimo Agrónomo y dignísimo Profesor de Agricultura del Real Jardin Botánico de esta corte, don Antonio Sandalio de Arias, que siempre se le ve anticiparse á establecer principios indestructibles, relativos á la prosperidad, y á cuanto puede ser ventajoso al Estado, me va á servir de norte seguro, ahorrándome al mismo tiempo el trabajo y la penalidad de probar lo conveniente, útil y ventajoso qne es el regar el territorio español, ó mas bien la absoluta necesidad que hay de proporcionarle el rega-

dío. Ya hemos insertado literalmente (nota del §. 49 de la Intr.) el discurso que pronunció en 8 de enero de este mismo año de 1830, por deberse considerar como la base y fundamento de nuestros cálculos. En dicho escrito, se prueba la necesidad de proporcionar agua para regar los terrenos de España, del modo mas convincente y exacto; y como por otra parte, el dictámen de tan distinguido Profesor en esta materia, es del mayor peso, esto nos escusa de ocuparnos sobre este particular; por lo que nos dedicarémos esclusivamente á manifestar en esta obra los medios de proporcionar el regadío, limitándonos en este libro á desenvolver algun tanto los principios de cálculo que en dicho discurso se establecen, sin mas diferencia que la de referirnos á la fanega del marco real, que se compone de 576 estadales de á 12 pies de lado, por ser en el dia la única que es legal, y de referirnos tambien al Censo de la riqueza territorial é industrial de España del año de 1799 publicado en 1803; pues aunque estamos convencidos de que es inexacto bajo diferentes puntos de vista, no obstante, ínterin no haya otro, debe servir de término de comparacion.

5 La superficie del territorio español de la Península, segun el espresado censo asciende á 14ᴅ858 $\frac{1}{2}$ leguas cuadradas de á 20ᴅ000 pies de largo cada legua longitudinal; luego, si multiplicamos este número por 400𝒟000ᴅ000 de pies cuadrados, que tiene una de dichas leguas, tendrémos 5𝒟𝒟943ᴅ400𝒟000ᴅ000 *, que serán los pies cuadrados que hay en toda la espresada estension superficial del ter-

---

* Cuando hay que escribir números muy grandes, en las obras que no versan esclusivamente sobre las Matemáticas, se suelen separar los guarismos de tres en tres, ó bien con una coma ó con un punto; pero esto puede inducir á errores ó equivocaciones de consideracion; porque segun se advierte (63 Ar. de N.) un punto entre dos números indica que los espresados números se han de multiplicar el uno por el otro; y una coma entre guarismos indica (163 Ar. de N.) que el número que está á la izquierda representa enteros y el que está á la derecha espresa decimales. En las oficinas se suele usar del signo 𝒟 á que llaman *Calderon*, para separar los millares, lo cual no puede inducir á error ni á equivocacion ninguna; y antes por el contrario, cuando se imprimen estados, en que se han de llenar despues con números los huecos, se pone impreso el calderon, y éste sirve de norma para que los guarismos de los números se puedan colocar fácilmente en columna vertical. Nosotros, en esta obra, para conseguir la claridad, cuando el número sea muy grande, usarémos de un calderon pequeño para separar las centenas de los millares; de un calderon mayor para separar los millones; de dos de estos calderones grandes para separar los billones, de tres para los trillones, y así sucesivamente. Por manera, que el número del texto se lee: *cinco billones novecientos cuarenta y tres mil y cuatrocientos millones.*

ritorio español de la Península, sin comprender las islas adyacentes, de que hablarémos despues; y como la fanega de tierra del marco real contiene (33 Ar. de N.) 82∪944 pies cuadrados, resulta que, dividiendo aquella cantidad por esta, obtendrémos el número de fanegas de tierra del marco real que contiene el territorio español de la Península; y resultan 71∪655∪575 fanegas del espresado marco real.

6 Sigamos nosotros el cálculo, guardando las mismas proporciones aproximadamente que el recomendable Arias; y supongamos que se labren en el dia solamente la cuarta parte, que serán 17∪913∪894 fanegas; resultan todavía 53∪741∪681 fanegas. Rebajemos las dos terceras partes, por razon de lo que ocupan las montañas, los rios, lagos, caminos, poblaciones, &c., que efectivamente no es tanto, segun asegura nuestro infatigable y celoso Profesor ya citado; y nos quedan 17∪913∪894 fanegas de tierra baldía ó erial, de que no se saca ningun provecho. Estas 17∪913∪894 fanegas, unidas á las otras 17∪913∪894 fanegas, que hemos supuesto se cultivan, componen 35∪827∪788 fanegas.

7 Supongamos que sean ya de regadío las 1∪827∪788, que vienen á ser aproximadamente las que efectivamente se riegan segun el dictámen de dicho Profesor, y nos quedarán 34∪000∪000; esto es, *treinta y cuatro millones de fanegas de tierra* del marco real, que poder beneficiar por el regadío, y lograr por su medio el aumento considerable que deben tener en su valor intrínseco y en los productos que pueden rendir, como vamos á demostrar.

8 Consideremos á todas las tierras de secano, comprendidas en los 34 millones de fanegas, un valor de 400 reales vellon la fanega del marco real, segun el cómputo prudente y juicioso del mencionado Arias (§. 25 de su discurso) *; su valor total será 13∪600∪000∪000; esto es, *trece mil seiscientos millones de reales.*

---

* Dicho Profesor supone el valor de 200 reales á cada fanega de la que toma *como de cabida media*, la cual contiene solo 40∪000 pies cuadrados; y la del marco real, á que nosotros nos referimos, se compone de 82∪944 pies cuadrados, que es mas de dos veces mayor; de manera, que para seguir exactamente la misma proporcion que con mucho juicio y prudencia establece el Señor de Arias, deberá suponerse á la fanega, de que hacemos uso, un valor de 414 reales y medio; pero como tratamos de no incurrir, bajo ningun aspecto, en la tacha de exagerados, hemos tomado solamente el valor de 400 reales, á fin de que nuestros cálculos pequen mas bien por cortos que por excesivos; pues como, á pesar de esto, los resultados aparecerán asombrosos, y acaso increibles á los que no estén acostumbrados á ocuparse de negocios en grande, es preferible para nuestro objeto el quedarnos cortos, que no el que se pueda concebir, que en lo que establecemos hay ponderacion.

9 Dándose á las tierras el beneficio del riego, su valor se debe suponer por término medio, pero quedándonos muy cortos, lo ménos *diez veces mayor*; luego deberá valer cada fanega de las del marco real 4000 reales; y en este caso, los 34 millones de fanegas, que ántes valían *trece mil seiscientos millones de reales*, ahora valdrán 136000000000; esto es, *ciento treinta y seis mil millones de reales.*

10 Veamos ahora si hay suficiente cantidad de agua para regar los mencionados 34 millones de fanegas del espresado marco real. Entre nosotros no existe un competente número de observaciones para deducir, con la debida exactitud, cual es la cantidad media de agua de lluvia que cae en el territorio español. Se cree que en las provincias del mediodia, llueve ménos que en las centrales; y que en las del norte de España, como son Asturias, Galicia, Santander y provincias Vascongadas, llueve considerablemente mas que en las del mediodia y del centro. Sin embargo, atendiendo á la ley de la naturaleza, de que en general *la cantidad anual de lluvia es mayor á proporcion que los paises están mas próximos al ecuador*, como se puede ver en la tabla de la pág. 395 del 4.º tomo de las *Cartas de Euler á una Princesa de Alemania*, traducidas con notas y adiciones por el *Señor Don Juan Lopez de Peñalver*, me parece que no es exacta la consecuencia de que *por ser mas cálidas y secas las provincias del mediodia de España que las del centro, y estas mas que las del norte, cae mas cantidad de lluvia al año en estas.* Lo que sí se verifica, es *que llueve mas dias del año en las provincias del norte de España que en las del centro, y en estas mas que en las del mediodia*; pero llueve una cantidad menor cada vez. Y si se hicieran las correspondientes observaciones, no dudo se hallaría que, de las pocas veces que llueve en las provincias del centro y mediodia, cae mayor cantidad de agua en todo el año, que en el mayor número de veces que llueve en las provincias del norte.

11 A pesar de la escasez de datos, que tenemos en España sobre tan interesante materia, por las noticias que yo pude recoger cuando escribí mi *Compendio de Mecánica Práctica*, llegué á deducir en el §. 210 de dicha obrita, *que la cantidad de agua de lluvia que cae durante un año sobre el territorio español de la Península, se puede establecer como término medio, en una columna de agua de 30 pulgadas ó 2,5 pies españoles de altura* *. Luego, si

* En comprobacion de lo que llevamos indicado, de llover mas en los

multiplicamos los 5∂∂9432∂400∂000∂000 de pies cuadrados, que tiene de superficie el territorio español, por 2,5 pies, que es la altura de la columna de agua que, por término medio, se puede reputar que cae en dicha superficie, tendrémos que la cantidad de agua de lluvia que cae al año en España, se puede reputar en 14∂∂858∂500∂000∂000 de pies cúbicos españoles.

12 La cantidad de agua de lluvia, que cae en un terreno cualquiera, se distribuye en cuatro partes: una de ellas penetra en lo interior de la tierra, y vuelve á salir despues á su superficie, formando los manantiales que alimentan los arroyos y los rios. Esta cantidad de agua es la que sirve para satisfacer las necesidades de los pueblos, y la mas útil á la Industria y Agricultura; por lo que es de la mayor importancia el tratar de aumentarla: sobre lo cual indicarémos los medios en el (libro 10) de esta obra. Otra cierta parte corre inmediatamente por la superficie del terreno, alimenta los torrentes, acrecienta los rios, y produce las inundaciones y avenidas repentinas. Se puede conseguir en varios casos que estas sean ménos perjudiciales, y en otros muchos, como manifestarémos despues, hacerlas útiles á la Agricultura y á la Industria.

Otra parte se consume por la vegetacion; pues la sávia de los vegetales y los jugos de sus frutos no vienen á ser mas que agua cargada de otros principios que lleva disueltos; y se debe procurar por cuantos medios sean imaginables aumentarla todo lo posible.

Finalmente, la otra parte se disipa por la evaporacion; y se puede conseguir el disminuirla ó aumentarla, segun convenga, por los medios que se indicarán (libro 9), promoviendo al ménos que gran parte de la que se evapora, caiga despues por la noche en forma de relente, rocío, &c.

13 "Es muy difícil, por no decir imposible, dice *Mr. Dupin*

---

paises meridionales, no estará demas el insertar, que la cantidad de lluvia que cae anualmente en Paris, cuya latitud es cerca de 49°, segun *Mr. Genieys pág. 20 de su Ensayo sobre los medios de conducir, elevar y distribuir las aguas*, es 0,53 de metro, que equivalen á 1,9 pies españoles, ó 22,8 pulgadas españolas, que es ménos de lo que llueve en España. Los dias lluviosos que hay en todo el año, á la latitud de Paris, son 134, y entre los paralelos 43° y 46° de latitud, que es la parte mas meridional de la Francia, el número medio de los dias lluviosos, haciendo abstraccion de las circunstancias locales que tienen una gran influencia, es 105 dias. Las costas septentrionales de España estan entre el paralelo 43° y 44° de latitud, por consiguiente, en virtud del dato anterior de Mr. *Genieys*, debemos inferir que serán unos 105 dias los que llueve en ella durante todo el año; lo cual me parece bastante arreglado, por las observaciones que yo mismo he hecho, cuando las he recorrido en los años de 1824, 1825 y 1829.

(en la leccion 8.ª del tomo 3.° de su curso de Geometría y Mecánica de las Artes y Oficios) * determinar con precision, en qué razon se ejecuta esta division de las aguas en las mencionadas cuatro partes. Sin embargo, en virtud de algunos cálculos que yo he hecho, juzgo que, respecto de la Francia, no se puede estimar en ménos de un tercio, la cantidad de aguas pluviales, que no estando absorvidas por la vegetacion, ni disipada por la evaporacion, llega al mar." Y en virtud de las observaciones y datos que yo he podido recoger, me parece que, como en España la evaporacion es mayor que en Francia, por causa del mayor calor, se puede reputar que de toda la cantidad de agua de lluvia que cae sobre el territorio español de la Península, la cantidad que irá al mar, será como *las tres décimas partes* de la cantidad total de agua de lluvia que cae sobre dicho territorio; por lo que supondrémos que solo desemboca en el mar, y es disponible en favor de la Agricultura é Industria, 4,,457,550,000,000 pies cúbicos durante todo el año.

14 Ahora bien, por el sistema, que yo trato de establecer, se pueden y deben regar las $\frac{3}{5}$ partes de todo el territorio español; dejando una quinta parte que supondrémos ocupan las montañas, rios, &c.; que se deberá destinar para arbolados de construccion, &c. que bien dirigidos hay bastante; y la otra quinta parte se podrá destinar á pastos, lo que tambien es mas que suficiente para los ganados existentes; y si nuestros Ganaderos adoptasen el verdadero modo de sacar partido de las lanas, mejorándolas para no quedarnos atrás respecto de las de Sajonia, y otras partes de Europa, sobre cuyo punto manifestaré (seccion 5.ª del cap. 3.° lib. 5.°) las observaciones que tengo hechas, y las noticias que he recolectado, les resultará grandísimo provecho, se conciliarán sus intereses y los de la Agricultura, con ventajas conocidas del Estado, y todavía sobrará mucho de este terreno.

15 Las $\frac{3}{5}$ partes del territorio español son 42,993,345 fanegas de tierra; mas para no separarnos ni un ápice de lo que dice el mencionado Profesor, y huir de que se tache de exagerada nuestra valuacion, supondrémos que solo pueden recibir el cultivo las 35,827,788 fanegas del espresado marco real, de que hemos ha-

---

* Ya se ha publicado en Español el primer tomo de esta apreciable obra, traducida por Don Juan Lopez de Peñalver y Torre, hijo del ilustre traductor de las Cartas de Euler, que tantas veces hemos citado, y que ahora ejerce dignamente el cargo de Director del Conservatorio de Artes y Oficios de Madrid.

blado (§. 6); y nos propondrémos examinar cuantas veces se podrá regar esta cantidad de terreno con los 4ØØ457'550Ø000'000 de pies cúbicos de agua. Por mi Memoria sobre la nivelacion del Jarama, Lozoya y Guadalix, pág. 496 del mercurio de octubre de 1824, resulta que, para regar convenientemente un terreno por una vez, se necesita una columna de agua de una base igual á la superficie que se ha de regar, y la altura de 0,2545 de pie; de donde inferimos que para regar una fanega de tierra del marco real por una vez se necesitan 21109 pies cúbicos de agua; y para regar una vez las 35Ø827'788 fanegas de tierra se necesitarán 756'288Ø776'892 pies cúbicos de agua; de donde resulta que con la cantidad de agua que acabamos de ver, existe disponible en favor de la Agricultura, *hay suficiente para regar mas de cinco veces y media* toda la cantidad de tierra que se ha calculado poder ser susceptible de ello.

16 Ahora bien, el trigo forma el principal cultivo en España; y para asegurar su cosecha, basta regar estos sembrados dos veces al año; luego si suponemos que las dos terceras partes (23Ø885'192 fanegas) de dicho terreno se siembren de trigo, á razon de dos riegos, consumirán 1ØØ008'385Ø035'856 pies cúbicos de agua, quedando todavía disponibles 3ØØ449'164Ø964'144 pies cúbicos.

17 Si la tercera parte del terreno restante, que asciende á 11Ø942'596 fanegas, la consideramos dividida en tres partes iguales, y que se destinen dos de ellas, que ascienden á 7Ø961'731 fanegas, para olivares, viñas, moreras, avellanos y casi todos los árboles frutales, y no en pequeña parte los prados artificiales, en lo que se necesitará regar unas cuatro veces al año, se consumirán 672'256Ø718'716 pies cúbicos, y quedarán todavía disponibles 2ØØ776'908Ø245'428 pies cúbicos de agua.

18 Si las dos terceras partes del terreno restante, que son 2Ø653'910 fanegas, las destinamos para todos los árboles frutales sin escepcion, y para los mismos prados artificiales en su totalidad, en lo que basta regar unas doce veces al año, se emplearán en regar estas doce veces las 2Ø653'910 fanegas, á que ascienden dichas dos terceras partes, una cantidad de agua espresada por 672'256Ø634'280 p.s c.s y aun quedarán 2ØØ104'651Ø611'148 pies cúbicos disponibles para las 1Ø326'955 fanegas restantes; y como para regar una vez cada fanega, se gastan 21109 pies cúbicos de agua, para regar estas 1Ø326'955 fanegas se gastarán 28'010Ø693'095 pies cúbicos; y si dividimos por este número los 2ØØ104'651Ø611'148 pies cúbicos de agua, que aun resul-

tan disponibles, tendrémos el número de veces que se podrán regar las espresadas 1''326'955 fanegas, y hallamos ser algo mas de 75 veces. Pero como aun en el cultivo mas esmerado de huerta, basta regar unas 50 veces al año, resulta que empleando en huerta las 1''326'955 fanegas, para regarlas 50 veces, se emplearán 1''''400'534''654'750 pies cúbicos, y quedarán todavía sobrantes ó disponibles 704'116''956'398 pies cúbicos de agua, que es mas de la sesta parte del agua total disponible; luego podemos tener una seguridad absoluta de que hay mucha mas agua de la que se necesita para conseguir el regadío en todo género de cultivo, que se juzgue oportuno establecer.

19 Examinemos ahora cual es el número de habitantes que se puede surtir, abastecer ó mantener con los productos de huerta que pueden rendir estas 1''326'955 fanegas. Con este objeto, observarémos que con una fanega de terreno de la cabida del marco real que se destine á huerta, hay, segun las noticias que yo he podido adquirir, para satisfacer las necesidades de unas 1000 personas *; luego con las 1''326'955 fanegas se podrán satisfacer las necesidades, en punto á los artículos de huerta, de 1'326''955'000 de habitantes, y como la poblacion de todo el Globo se reputa en unos 630 millones (§. 581. II. C.), resulta que habrá para surtir á un número de habitantes, mas de dos veces mayor que los que pueblan el universo.

20 Deduzcamos ahora el aumento que el regadío podrá originar en la produccion agrícola.

Segun el censo de la riqueza, ya citado, el total valor de los productos naturales de la España peninsular asciende á 4'909''121'246 reales y 8 mrs. **; y como la porcion de terreno que en España suministra esta produccion natural la tenemos calculada (§. 6), fundándonos en el aserto del mencionado profesor (§. 24 de su discurso) en 17''913'894 fanegas del marco real, resulta por término medio para cada una de estas fanegas la produccion de 274 reales.

Pero esto es sin hacer la distincion entre lo que producen las de secano y las de regadío. Mas para la debida claridad, debemos examinar el producto de cada una de estas fanegas: á cuyo efecto, de-

* Esto quiere decir en los artículos que producen las huertas, que son las verduras, ensaladas, &c., y no en otra produccion.

** Este número resulta de restar de los 5'143''938'354 reales y 24 mrs. á que asciende la suma total de la columna quince del plan comparativo señalado con el número 3.º en dicho censo, los 234''817'108 reales y 16 mrs. que es el valor correspondiente á las Islas Canarias, Mallorca, Ibiza y Formentera.

bemos observar, que de las 17.913.894 fanegas que hemos supuesto se labran, se reputan ya de regadío las 1.827.788; luego en la actualidad se pueden considerar como tierras labrantías de secano 16.086.106 fanegas.

21 Nosotros hemos supuesto con el Señor Arias, calculando por muy bajo, que el valor de las tierras de regadío era solo diez veces mayor que el de las de secano; y suponiendo que la produccion guarde la misma razon, esto es, que una fanega de regadío produzca tanto como diez de secano, lo que no es demasiado, esta hipótesis nos servirá para determinar aproximadamente cuanto produce la fanega de secano, y cuanto la de regadío, por los datos del censo espresado.

Para esto, debemos observar que las 1.827.788 fanegas de regadío producirán en dicho supuesto tanto como 18.277.880 fanegas de secano, las cuales unidas á las 16.086.106, que se supone haber efectivamente de secano, nos resultan 34.363.986 fanegas de secano; esto quiere decir que, en vez de considerar que la produccion total contenida en el censo, resulte de las 17.913.894 fanegas en que entran 1.827.788 fanegas de regadío y 16.086.106 fanegas de secano, podrémos suponer que dicha produccion de 4.909.121.246 reales proviene de 34.363.986 fanegas del marco real, pero de secano; y en este caso dividiendo el valor de la produccion total por este número de fanegas, resulta para el producto de una fanega de secano 143 reales próximamente; y debiendo ser el producto de la fanega de regadío diez veces mayor que la de secano, resulta para el producto de una fanega de regadío 1430 reales próximamente. Todo esto con arreglo al sistema que rige actualmente y al producto espresado en el censo; y aunque hay motivos poderosos para inferir que los resultados contenidos en el censo mencionado son muy diminutos, sin embargo, nosotros preferimos el calcular corto á que se nos pueda tachar de exagerados, por la razon espresada (nota del §. 8).

22 Si se estableciese el buen órden de cultivo, que propone en sus lecciones el Señor de Arias, el producto de las tierras de regadío, bien establecido, sería muchísimo mas que diez veces las mismas tierras de secano; pero por las razones que acabamos de repetir, de que preferimos quedarnos cortos, nos limitarémos á dicha hipótesis.

23 En este caso, rebajando de los 34.000.000 de fanegas, que por nuestro sistema van á recibir el riego, las 16.086.106 que en el día se labran como de secano, resultan 17.913.894 fanegas de tierra, que haciéndose de regadío, y al respecto de que

cada una producirá solo 1430 reales, se obtendrá un aumento anual de riqueza de 25'616''868'420 reales vellon.

24 Las 16''086'106 fanegas, que hoy se labran de secano, al respecto de 143 reales producen una riqueza de 2'300''313'158 reales; pero haciéndolas de regadío, producirán lo ménos diez veces mas, á saber: 23'003''131'580 reales; luego por hacer de regadío estas 16''086'106 fanegas, resulta un aumento anual de produccion de 20'702''818'422 reales vellon.

25 Sumando esta partida con la del (§. 23), se obtienen 46'319''686'842 reales para el aumento de riqueza anual que puede resultar de emplear en beneficio de la Agricultura las aguas que no tienen aplicacion hoy en España; y repartiendo esta suma entre todo el número de Españoles, que segun el censo de la poblacion correspondiente al año de 1797, comprendiendo tambien los habitantes de Africa y de las Islas adyacentes, es 10''541'221, corresponde á cada Español un aumento de riqueza anual de 4'394 reales que, al 3 por 100, equivale á lo mismo que si cada Español, comprendiendo tambien los de Africa é Islas adyacentes, pudiese disponer de un capital de 146'466 reales vellon; y suponiendo que por todo género de contribuciones reales, se pague por este aumento solo el 3 por 100, resultan á favor del Real Erario 1'389''590'605 reales vellon de aumento de renta anual, que es mucho mas del doble de lo que importa en el dia el presupuesto de todas las cargas del Estado.

El aumento de diezmos, que resultaría para la Iglesia, estaría espresado por 4'631''968'684 reales vellon.

26 Yo me abstengo de hacer ninguna reflexion acerca de manifestar el grado de prosperidad á que llegaría nuestro pais, y lo felices que podrían ser sus beneméritos habitantes, si se realizase en nuestros dias aunque no fuera sinó una muy pequeña parte de lo que proponemos en esta obra. Pero en lo que no puedo ménos de insistir, aunque en esta parte me adquiera la tacha de molesto, es en que por ningun título se debe reputar que hay exageracion en estos resultados; pues cuando se establezca en España convenientemente el cultivo de prados, se echará de ver con cuan sólido fundamento aseguro, del modo mas positivo, que mis cálculos, en vez de suponerse escesivos, pecan de diminutos bajo todos los aspectos que puedan considerarse.

CAPÍTULO II.

Valor de las aguas que corren por el territorio español, si se empleasen como potencia motriz en los establecimientos industriales.

27 El *Baron Carlos Dupin* en la leccion 8.ª del tomo 3.º de su *curso de Geometría y Mecánica de las Artes y Oficios y de las Bellas Artes* ya citado (13), calcula el valor de la fuerza motriz que pueden suministrar las aguas naturales de Francia; y la gradúa en el *trabajo que podrían producir ochocientos millones de hombres bien robustos*, y dice que de esta fuerza solo se empléa útilmente como motor hidráulico $\frac{1}{800}$ de ella, ó la parte equivalente á un millon de hombres.

28 El objeto del presente capítulo es hacer un cálculo semejante relativo á España; con cuyo motivo, recordarémos que la cantidad de agua que cae durante un año sobre la superficie del territorio español de la Península está graduada (11) en 14''858,500'000,000 de pies cúbicos; y que por las razones espuestas (13), solo quedan disponibles en beneficio de la Agricultura y de la Industria 4''457,550'000,000 pies cúbicos.

29 Hemos visto en el capítulo precedente, lo que el agua puede influir en beneficio de la Agricultura: y como si al mismo tiempo se hace servir de motor en las máquinas, no solo no es incompatible con el empléo en la Agricultura, sinó que se prepara mejor con el mayor traquéo, pues adquiere mas beneficios atmosféricos, vamos á determinar ahora el valor que tendrían estos 4''457,550'000,000 pies cúbicos de agua si se empleasen como potencia motriz en los establecimientos industriales.

30 Para esto, debemos observar que el territorio español presenta una superficie tan sumamente desigual, que sin verlo parecerá increible, principalmente para los que estén acostumbrados á viajar por el estrangero. En efecto, yo he reconocido una gran parte del territorio de Francia, Inglaterra y Holanda sin haber encontrado, no digo una montaña como las de Sierra Morena, Guadarrama, Somosierra, &c. sinó acaso ni una cuesta de tan rápida pendiente como la que hay para subir del paséo del Prado al Palacio del Buen Retiro en Madrid.

31 Al contrario, en España, si se esceptúa una cortísima parte

de su territorio, cual es el de la Mancha, en todo lo demas, no se camina un solo dia, sin que se advierta una variacion extraordinaria en el horizonte sensible, por las montañas que uno encuentra siempre en derredor de sí. Esto, en sentir de algunos, es un defecto, ó un inconveniente para promover los diversos objetos en que consiste la pública prosperidad; y se debe considerar como tal efectivamente, si queremos establecer en nuestro pais dichos objetos por los mismos procedimientos que se hallan practicados en los demas parages del Globo; pues que nuestro territorio está en contradiccion con los principios científicos que se han establecido para localidades diferentes, y acaso enteramente opuestas. Pero si nosotros combinamos los principios científicos, de modo que se acomoden á nuestras localidades, que es lo que yo me propongo hacer en esta obra, entónces es infinitamente mas ventajosa nuestra posicion *Geológico-Topográfica*.

32 La agitacion casi continua en que se ha encontrado la España desde el descubrimiento del *Cálculo Infinitesimal*, que es el que mas ha contribuido á que se allanen la mayor parte de las dificultades que ofrecían las Ciencias y sus aplicaciones á las Artes y á todo género de industria, no nos ha dejado el tiempo necesario para meditar con la debida tranquilidad sobre tan interesante materia; y nos hemos visto en la precision de adoptar lo que en otras naciones ha producido buen efecto, y que por estar en contradiccion con nuestras localidades ha sido desventajoso en España.

33 Antes de pasar mas adelante, no puedo ménos de hacer una observacion, para que de esto no se saque alguna consecuencia poco ventajosa al decoro, gloria y honor de la España, y al talento, é ingenio particular y estraordinario de las Españoles. Y es, que todo cuanto sobre este asunto sucede en España, se ha verificado y se verifica en casi todas las demas naciones, por ilustradas que se las quiera suponer. En comprobacion de esta verdad, oigamos lo que dice *Mr. Heron de Villefose* en su obra intitulada *Riqueza mineral*. En el tomo 1.° pág. 395 dice, hablando de la Francia: "Ningun pais puede lisonjearse de circunstancias mas favorables á su riqueza mineral...... Cuando en épocas ya remotas, el Gobierno ha querido desarrollar en Francia la industria de las minas y de los establecimientos, para beneficiarlas, por ordenanzas calcadas sobre las que aseguran el suceso de este género de industria en la mayor parte de los otros paises, la aplicacion de estas ordenanzas intentada con poco discernimiento, algunas veces exagerada, y bien pronto abandonada al interes personal, ha acabado por ocasionar los males que tenía

por objeto prevenir. Lo peor fué que, por no haber sabido apreciar y modificar sábiamente medidas deducidas de la naturaleza de las cosas, han creido deber ir de un esceso en otro, como sucede frecuentemente, y no se tomó ya ninguna medida para la conservacion de las minas."

34 Luego, si á pesar de la reconocida y aun decantada ilustracion de la Francia, se confiesa por un Sábio de un mérito tan estraordinario, que han resultado perjuicios por haber adoptado teorías, buenas en otros paises, sin la debida modificacion, no parece que deberá refluir esclusivamente en España esta especie de tacha, por haber adoptado teorías análogas, mayormente cuando por las circunstancias de hallarse en las guerras de sucesion, en la época en que los Cálculos Diferencial é Integral hacían sus conquistas en la ciencia de la naturaleza, no tuvo la tranquilidad necesaria para dedicarse á promover los adelantamientos científicos; y sin los debidos y profundos conocimientos teóricos, se vió en la precision de adoptar las prácticas establecidas ventajosamente en otros paises, sin el correspondiente exámen; y como en nuestro territorio las circunstancias son diversas, no han producido las ventajas que en un principio se concibieron.

35 En otros paises, resulta mas fácil, sencillo, económico y ventajoso hacer un canal de navegacion al lado de un rio, que hacer navegable el mismo rio. *En España se verifica lo contrario; es mas fácil, sencillo, ventajoso y económico, el hacer navegable un rio, ó el canalizarle, que el hacer un canal al lado de un rio*, escepto en algunas localidades particulares, y entre ellas la que corresponde al proyecto de navegacion desde Córdoba á Sevilla, concebido con tanto tino y acierto por el Sábio ingeniero de caminos y canales Don José Agustin de Larramendi, que hoy ocupa dignísimamente una plaza de Director de Correos y Caminos.

36 La razon es la siguiente: como el territorio de Francia, Inglaterra y Holanda es casi llano enteramente, todos los rios son navegables si tienen la suficiente cantidad de agua, ó si se hacen los barcos que calen solo el agua de que es capaz el rio: esta localidad no hay duda que es una ventaja para la navegacion en dichos paises comparados con el nuestro; es decir, que en general, los rios de otros paises son mas fácilmente navegables que los de España. Esto es una verdad incontestable; mas por otra parte resulta que estas aguas no pueden producir entónces las ventajas de servir como potencia motriz en las máquinas.

37 Pero cuando en dichos paises un rio no tiene la suficiente cantidad de agua para la navegacion, es mas costoso el canalizarle, esto es, el hacerle navegable artificialmente, que el hacer un canal lateral. La razon es que habiendo poca pendiente, y siendo terreno llano, si se quieren sostener las aguas por medio de diques, presas, ó cualesquiera otras obras hidráulicas, no se podrá conseguir sin uno de estos graves inconvenientes, ó inundar una gran parte del pais comarcano, inutilizándole para los usos de la Agricultura, ó elevar las márgenes del rio: lo cual, ademas del gasto que debe ocasionar, hace que se inutilice tambien una gran parte de terreno, tanto mayor cuanto haciendo todo rio muchos recodos, es muy considerable la espresada cantidad de terreno que sería necesario inutilizar.

38 Y como los canales, en pais llano, se pueden dirigir en línea recta, que es el camino mas corto, al parage que convenga, resulta que, en dichos paises trae mas ventajas, por lo general el hacer un canal lateral, junto á un rio para los efectos de la navegacion, que el intentar hacer navegable el mismo rio, egecutando las obras convenientes para su canalizacion.

39 En España sucede todo lo contrario. Nuestros rios van siempre por grandes profundidades; de manera, que aunque se hagan presas, diques, &c., para contener las aguas, y rebalsarlas, á fin de que tengan la suficiente altura para que los barcos puedan transitar, y que se conserven á nivel, no hay riesgo, por lo general de que las aguas inunden los terrenos inmediatos, pues que estos se hallan casi siempre mucho mas elevados de lo que se necesita levantar las aguas; luego aquí se consigue el tener un trozo de navegacion, sin mas gasto que el de una presa, y en construyendo esta con su correspondiente *esclusa* para pasar de un trozo á otro los barcos, se consigue la navegacion de un modo muy económico, y se detienen las aguas á mayor altura; con lo cual se pueden emplear para el regadío, fomentando la Agricultura, servirán de motor en las máquinas y podrán producir abundante y saludable pesca, sin mas gasto que el de la presa; y como por mi nueva construccion de obras hidráulicas, que manifestamos en el libro cuarto de esta obra, el hacer una presa es sumamente fácil y económico, y es casi eterna su duracion, sin que se teman los riesgos de los estragos cuando se inutilicen, resulta muy sencillo y ventajoso el canalizar nuestros rios.

40 Por el contrario, si queremos abrir canales laterales á nuestros rios, se presentan dificultades inmensas é insuperables, cuyo aserto carece de exageracion. Si nuestros rios fuesen encajonados en

la profundidad de los valles, cuyas faldas ó laderas que descienden hasta el rio, formasen planos continuados en la misma direccion del rio, ó que no se separasen mucho de esta posicion, entónces un canal lateral se podría establecer con ventajas, que es el caso en que se halla el canal proyectado entre Córdoba y Sevilla por el benemérito ingeniero Larramendi, del cual hemos hablado (§. 35).

41 Esta disposicion no es general en el curso de nuestros rios; pues aun desde su mismo orígen ó nacimiento, van siempre por profundidades que hay en montañas elevadas, caminan siempre con mas ó ménos tortuosidad por su parte profunda; y las faldas de las montañas ó laderas en cuya profundidad va el rio, léjos de formar planos contínuos, por donde se pueda construir un canal en una direccion poco diferente de la recta, se presentan dichas faldas interrumpidas por otras montañas mas pequeñas, que vienen á formar una especie de estribos ó contrafuertes. De aquí resulta que para conducir el canal, es indispensable, ó hacer que siga todas las tortuosidades de estas laderas de los estribos, en cuyo caso para cada legua que se abriese de canal en línea recta, se necesitarían abrir por término medio, lo ménos tres leguas efectivas; ó sería preciso taladrar todas estas pequeñas montañas; lo cual haría que en cada legua de canal se tuviese que hacer por término medio, lo ménos una tercera parte de mina en las mismas montañas, taladrándolas. Ambos arbitrios son de tal manera costosos, que por grandes que se supongan las ventajas de dichos canales, no pueden en manera alguna compensar los gastos de construccion y de conservacion; y si á esto se agrega que estas faldas de montañas, que hemos considerado aquí como principales, y á que sirven de estribos las otras mas pequeñas, vienen á ser ellas mismas como estribos de otras montañas de un órden superior, que forman nuestras sierras ó cordilleras, se advertirá que, á poco trecho de la derivacion de cualquier canal, la falda ó ladera en que se forme, termina en el sentido que tuvo al principio, y retrocede acaso en una direccion enteramente opuesta. En este caso, para conservar el nivel de las aguas, ó es preciso prolongar con larguísimos rodéos la línea de navegacion, ó taladrar montañas inmensas, ó hacer acueductos ó gallipuentes colosales, cuyos gastos esceden á los recursos que pueden ofrecer los tesoros de las naciones mas ricas del mundo. Tales son las dificultades que presentaría el proyecto, de que tanto se ha hablado, de establecer las comunicaciones interiores de España por medio de canales. Por el contrario, canalizando nuestros rios, segun lo exige la naturaleza del terreno, y

uniendo estas líneas de comunicacion acuática, con la de caminos de fierro de mi invencion en los parages convenientes, se puede establecer un sistema de comunicacion interior de toda la España, tan sencillo, pronto, fácil y económico, que con ménos de lo que se ha gastado en los canales de Castilla y de Aragon, se podrá establecer en nuestros dias la línea de comunicacion interior de la Península en los términos que manifestarémos en el libro noveno.

42 Volvamos ahora á nuestro cálculo del valor que pueden tener las aguas del territorio español de la Península, consideradas como potencia motriz en los establecimientos industriales.

Hemos visto en la introduccion, que en general llueve mas, y cae mas relente, rocío y nieve en la parte alta de las montañas, que en sus faldas y que en los valles; pero ahora conviene que nos estendamos todavía algun tanto, contrayéndonos á nuestro territorio. Con este motivo recordaré que el calor del sol evapora el agua de los mares, rios, arroyos, &c., &c. Estos vapores, y los que resultan de la traspiracion de las plantas, se elevan á la parte superior de la atmósfera, y quedan suspendidos en ella, hasta que por el frio de las regiones elevadas se condensa y caen en gotas, ó rocío, ó en las otras formas de que hablamos en la Meteorología (2.º tomo de C.). La lluvia tambien resulta cuando las nubes, conducidas por las oscilaciones ó corrientes atmosféricas, encuentran una montaña que las obliga á comprimirse, y abandonan entónces el agua de un modo análogo al que lo hacen las esponjas. Y como las montañas de la Península son tantas, á poca distancia que las nubes sean trasportadas, por precision han de estrellarse con alguna de ellas que, en virtud de las causas indicadas, obligue á las nubes á esprimir su agua. Lo cual confirma que es mayor la cantidad de agua que se deposita en nuestras montañas en forma de rocío, lluvia, granizo, nieve, &c. segun la estacion, que lo que en la misma forma cae en nuestros valles.

43 De aquí resulta, que si en el cúspide de nuestras montañas hay llanuras ó profundidades, sin derrames por los lados, se forman en su parte superior grandes depósitos de agua, de los que ya hemos citado algunos en la Introduccion. De estos depósitos se va filtrando por los intersticios, grietas, hendeduras y oquedades de la tierra; y á cierta distancia mas ó ménos grande, salen en forma de manantiales, y despues se dirigen por la parte mas baja formando los arroyos, los rios, &c.

44 Si en la parte mas alta de las montañas no hay parages á

propósito para que se estanquen las aguas, estas corren en parte por su superficie hácia los parages profundos; y una cierta porcion se introduce en lo interior de la tierra, se filtra por sus hendeduras y oquedades, y da lugar á los mismos manantiales, de que hemos hablado en la Introduccion. Ademas, la elevacion de nuestras montañas es tal, que en unas se conserva la nieve en todo tiempo del año, como sucede en la *Sierra nevada de Granada*; en otras, se halla ocho meses solo, y lo ménos cinco ó seis en la mayor parte, como sucede en Somosierra, Guadarrama, Sierra Morena, &c. En ellas es por lo general el frio tan grande, que el aire atmosférico se halla casi siempre á una temperatura inferior á cero; y como el grado medio del calor terrestre (§. 582 y siguientes II. C.) varía con la latitud de los lugares, y en Madrid es 12 grados del termómetro de *Reaumur*, ó 15 del *centígrado*, resulta que el cúspide de la mayor parte de nuestras montañas, aunque no se puede suponer tanto grado de calor como tiene la tierra en los valles inmediatos, sin embargo como las montañas están adheridas á la tierra, y el calor posée una cierta tendencia al equilibrio, su cúspide siempre conserva un grado de calor mayor que la atmósfera en dicha parte mas elevada. Esto da orígen á dos fenómenos opuestos y simultáneos, á saber; que al mismo tiempo que la temperatura de la atmósfera en la parte mas alta de nuestras montañas es bastante baja para congelar y convertir en nieve ó hielo el agua que existe en las nubes en forma de vapor, y que por consiguiente se está formando sin cesar, al ménos en el invierno, una capa de nieve en la parte que está en contacto con el aire atmosférico, la otra parte de la misma capa de nieve, que se halla contigua al terreno de la montaña, se está derritiendo contínuamente por el calor terrestre. Entónces el agua que resulta por la fusion lenta y contínua de la capa de nieve que está en contacto con la montaña, se va introduciendo por los poros, intersticios, grietas ú oquedades de la tierra, se filtra en su interior, y sale despues por las faldas de la misma montaña, á distancias mas ó ménos considerables, dando orígen á los manantiales, de que ántes hemos hablado á unas alturas muy estraordinarias. Entre estos manantiales los hay de tal naturaleza, que unos son perennes; otros disminuyen sus aguas en el verano, y los hay tambien que en el estío quedan secos enteramente.

45 Esto proviene de la forma, dimensiones y capacidad que tengan los conductos por donde pasan estas aguas filtradas, los depósitos subterráneos con que estén en comunicacion, y distancia á

que se halle la salida respecto del parage por donde se introducen las aguas en la tierra. Pero resulta constantemente, que el orígen ó nacimiento de nuestros rios, siempre se halla en las faldas de las altas montañas.

46 Siendo de la mayor importancia para el objeto de esta obra el conocimiento de las alturas de la Península, vamos á insertar las noticias que he podido recolectar en la siguiente

Tabla * *que contiene las alturas sobre el nivel del mar de varios puntos del territorio español, espresadas en pies españoles.*

NOMBRES DE LAS ALTURAS.	N.º de pies españoles sobre el nivel del mar.	Observadores.
Alto de Cagiga-Hermosa (Montañas de Santander)	2097	
Aguas del Turia	3159	
Aguas del Eresma (debajo del alcázar de Segovia)	3321	
Aguas del Guadalquivir (en la barca de Mengibar)	609	
Alcaudete	2565	
Alcalá la Real	3069	
Alcalá de Henares	2104	
Alcocer	2541	
Auñon y Sacedon	2095	
Ávila	3813	Antillon.
Almuradiel (Altura de) en el camino de Madrid á Andalucía	2640	
Aranjuez	1862	Humboldt.
Alcuide (Pico)	3078	Mechain.
Id. id.	4860	Humboldt.
Arbizon (Pico), Pirineos	10553	Ramond.
Anie (Pico) ó Genia-Larra, id.	8955	Dernierguerre.
Aizquivel (Monte en las Provincias Vascongadas)	1944	Id.
Anza sobre Izalzu (id), division de límites	3345	
Anza sobre Errazu (id.), id. id.	4674	
Alcorrum sobre Maya (id), id. id.	3345	
Adi sobre Equí (id.), id. id.	3217	
Alto del Visar sobre Roncesvalles, id. id.	5373	
Algora (Guadalajara)	4170	Antillon.
Alcolea (Castilla)	4455	Id.
Abril (Monte), en Vizcaya	1371	Ferrer.
Burguete (el Campamento de), Pirineos, di-		

* Esta tabla se ha formado por los datos que ofrece la obra intitulada *Elementos de Geografía Física* aplicados al arte de la guerra por el Brigadier don Juan Sanchez Cisneros (hoy Teniente General) y la de *Elementos de la Geografía de España y Portugal* por don Isidoro Antillon; y en virtud de otras noticias que yo tenía reunidas.

Sigue la tabla.

vision de límites.	3336	
Burgos.	3147	Ferrer y Bauzá.
Casas de Ciprian (Montañas de Santander).	4428	Peñalver.
Casa del Rey (id).	9504	Id.
Canigú (Pirineos).	10092	Antillon.
Id. id.	12342	Cisneros.
Córdoba.	846	
Cumbre de *Mulhassem* ó *Muley-hasen* (sierra Nevada de Granada) es el punto mas alto de la Península.	12762	Rojas Clemente.
Cabezó de María (Reino de Granada).	6871	
Cumbre de Portilla.	4559	
Carolina.	2022	Betancourt.
Cilindro (El), Pirineos.	11961	Vidal y Reboul.
Cabarere (Puerto de), Pirineos.	8052	Ramond.
Cabesugut (Monte), en Cataluña.	2772	Mechain.
Casoleta (Monte).	3099	Id.
	3114	Cisneros.
Caro (Monte).	5085	Mechain.
Consuegra.	2307	Betancourt.
Cigarraga (sobre el Vidasoa), division de límites.	2043	
Cella (Aragon).	3235	Antillon.
Cercedilla (venta de), en Castilla.	4683	Id.
Cerrajon de Murtas (Reino de Granada).	5310	Id.
Cerro de Poyales (lo mas alto del).	4985	
Desierto de Palmas (Valencia).	2574	Mechain.
Id. id.	2580	Cisneros.
Id. id.	2610	Antillon.
Durango (Provincias Vascongadas).	456	
Escorial (Real sitio del).	3852	
Id. id.	3576	Antillon.
Espadan (Pico), Valencia.	3903	Mechain.
Id. id.	1924	Cisneros.
Entrambas-mestas (Montañas de Santander)	552	Peñalver.
Escudo alto id. id.	3894	Id.
Espinosa de los Monteros.	2706	Id.
Fresnillo (Castilla).	3657	Ferrer y Bauzá.
Filabres (Sierra), Reino de Granada.	6000	
Fuente de Córcoles.	2541	
Fuente de Cella.	3723	
Gádor (Sierra).	7800	Rojas Clemente.
Granada.	2542	Betancourt.
Id. (por trigonometría).	2931	Rojas Clemente.
Id. (barómetro)	2934	Antillon.
Gavarnier (Puerto), Pirineos.	8367	Ramond.
Gabarrote, id. id.	8052	Id.
Guadalajara.	2553	Antillon.
Gibraltar (Peñon), lo mas alto de.	1321	
Gorbéa (Monte de Álava).	5379	Ferrer.
Hory (Monte), Pirineos.	7212	Dernierguerre.
Haussa (Monte) sobre Bastan en Navarra.	4665	Id.
Haya (Monte entre Irun y Oyarzun).	2877	
Honrubia (Castilla).	3531	Ferrer y Bauzá.

Sigue la tabla.

Herrería de los Chorros.	4372	
Ildefonso (San).	4164	Antillon.
Id.	4149	Cisneros.
Id.	3948	Laborde *.
Id.	4151	Thalacker.
Juan (San) ermita cerca de Altafulla en Cataluña.	330	Mechain.
Jaizquivel (Monte) division de límites.	1953	
Juanilla (Venta de), en Castilla.	4056	Ferrer y Bauzá.
Guadarrama (El Leon de), id.	5610	
Id.	5094	Antillon.
Laujar (Sierra), Andalucía.	6732	Rójas Clemente.
Id. id. id.	6861	Antillon.
Long (El pico de), Montañas de Santander.	11667	Ramond.
Liberia (Montaña), Valencia.	3330	Mechain.
Liérganes (Montañas de Santander).	1188	Peñalver.
Lerma.	3531	Ferrer y Bauzá.
Madrid.	2643	Antillon.
Id.	2442	Ferrer y Bauzá.
Id. (patio del palacio del Retiro de).	2394	Vallejo.
El escalon de la puerta de la casa del portazgo que hay en el parage en que se separa el camino que desde Madrid va á Fuencarral, del que va á Chamartin se halla.	2592	Id.
El escalon de la puerta del parador de Fuencarral.	2595	Id.
El escalon de la casa de don Ramon Perdiguero en Alcovendas.	2404	Id.
La parte mas alta de la calle por donde pasa el camino real de S. Sebastian de los Reyes,	2394	Id.
El camino real de Francia en el parage en que le corta la vereda que de Fuente el Fresno va á la barca de Alcovendas.	2150	Id.
El escalon de la puerta de la venta de Pesadilla está.	2158	Id.
El nivel de las aguas en la confluencia del Guadalix con el Jarama.	2135	Id.
El resalto de la puerta de la casa de Oficios del Conde de Cabarrus cerca del Jarama.	2403	Id.
La solera ó fondo del canal del Conde de Cabarrus, por la parte inferior del puente que hay en el parage en que le cruza el camino que de la casa de Oficios va á Torre Laguna.	2411	Id.
El nivel de las aguas del Jarama en el puente viejo de Uceda.	2398	Id.
El nivel de las aguas en la confluencia de los rios Lozoya y Jarama.	2451	Id.
El nivel de las aguas del Lozoya en la mis-		

* Mr. Laborde dice en su Atlas del Itinerario descriptivo de España, hablando de esta elevacion: «De manera que entre todos los Monarcas de Europa, solo el de España puede gloriarse de tener un Palacio en la region de las nubes.”

Sigue la tabla.

ma presa del canal del Conde de Cabarrus.	2486	Vallejo.
El escalon de la ermita de Ntra. Sra. de Remolinos.	2257	Id.
El nivel de las aguas del Guadalix en el salto del Hervidero, que está 31 pies mas alto que el charco del mismo nombre casi á espaldas de la Atalaya del Molar.	2362	Id.
El parage del rio Guadalix, que se llama la *Tabla* mas arriba del salto del Hervidero.	2465	Id.
La casa de D. Pedro Ballesteros en el pueblo de Guadalix.	2940	Id.
El puerto de Miraflores, esto es, el parage mas alto del camino que de Miraflores va al Paular.	6237	Id.
El patio del convento del Paular.	3438	Id.
La presa que hay en el molino que se halla en el arroyo Agüeros mas arriba del puente de S. Vicente.	2498	Id.
Mengibar.	1062	
Monte perdido (Pirineos).	2333	Ramond.
Muela * de Ares (Valencia).	4686	Antillon.
Id. id. id.	4632	Cisneros.
Id. del Norte (Valencia).	4680	
Masia de Lloret (id.).	966	Mechain.
Manzanares (Mancha).	2319	Betancourt.
Matas (Pico de) En la montaña de Monte Alegre en Murcia.	1680	Mechain.
Monserrat (Castillo de) Valencia.	939	
Morella (Puig de las montañas de Garrof).	2127	Betancourt.
Muncia ó Mola Sima (montaña en Cataluña).	2736	Mechain.
Masia de Cucalo (Valencia).	2127	Id.
Mont-Agut (Cataluña).	3420	
María (Sierra de) Andalucía.	6861	Antillon y Clemente
Mongo (Monte) Valencia.	2658	Mechain.
Molina de Aragon.	3792	Antillon.
Mina del Collado de la Plata.	4794	Id.
Molino de S. Pedro junto á Guadiela.	2227	
Mondragon (en Guipúzcoa).	768	Ferrer y Bauzá.
Miranda de Ebro.	1650	Id. id.
María de Cubo (Santa).	2469	Humboldt.
Murcia.	489	
Monserrat (Capilla de la Vírgen de) en lo mas alto.	4448	Mechain.
Navacerrada (Puerto).	6601	Thalacker.
Nacimiento del rio Guadalféo en la laguna de la Caldera mayor (Sierra Nevada).	1106	Rojas Clemente.
Nieves perpétuas (Altura de las) Sierra Nevada de Granada.	9915	
Orsansurieta (Pirineos).	5604	Dernierguerre.
Ontaneda (Montañas de Santander).	1624	Peñalver.

* Se llaman *Muelas* en Aragon y Valencia aquella parte de las cordilleras en que los montes, despues de reunidos por la base hasta cierta parte de su altura, continúan luego separados como conos truncados dejando llanuras en la cumbre.

Sigue la tabla.

Ontaneda (Montañas de Santander).....	1872	Antillon.
Ois (Monte) Vizcaya................	3735	Ferrer.
Portazgo de Castilla................	4653	
Perdut (Monte, cima, Pirineos)........	12333	Vidal.
Id. id. id. id....................	12081	Mechain.
Paso de los Pirineos en el camino de España á Francia (Puerto de Pinede)........	9030	Ramond.
Peña de Bel (Valencia)...............	4464	Mechain.
Peñalara (La cumbre de) Somosierra......	7502	Antillon.
Perenchisa (Monte de Valencia).........	930	Id.
Pozondon (Aragon)..................	5082	Id.
Portazgo de Guadarrama..............	4443	Id.
Puerto del Rey (Castilla) su mayor altura..	2445	Id.
Perdido, ó Tres hermanas, Pirineos.....	12342	
Penilla de Toranzo (Montañas de Santander).....................	1143	Peñalver.
Portal de Cuseo (Cima) id. id..........	10494	Id.
Portillo de Bedores id. id. id.........	11484	Id.
Pico Molacima (Aragon)..............	3741	
Pico (El) Sierra-espadan. Valencia......	3909	
Picacho de la Veleta (Sierra Nevada en Granada).....................	12459	
Pozo (El)........................	2264	
Pico Casueleta. Valencia..............	3106	
Quintanapalla.....................	3345	Ferrer y Bauzá.
Rafael (Fonda de San)...............	4623	Antillon.
Rapita (Monte sobre Bechi. Valencia)....	3945	Mechain.
Roldan (Monte) Murcia...............	1391	Tofiño.
Riva-Tejada......................	3106	
Id............................	3099	
Setiles (Aragon)...................	4413	Antillon.
Segovia (Alcazar de)................	3582	Id.
Soncillo (Montañas de Santander).......	3075	Peñalver.
Somosierra (Puerto)................	5247	Ferrer y Bauzá.
Suelo General de las dos Castillas.......	1985	Humboldt.
Teide (Pico) en Canarias.............	13242	Bordá y Varela.
Id............................	13290	Varela.
Id............................	15480	Feville.
Id............................	16824	Herverden.
Id............................	18594	D. Manuel Hernandez
Término medio entre estas cinco medidas..	15486	Vallejo.
Tembleque.......................	2220	Betancourt.
Tarragona (Torre de la Catedral)......	441	Mechain.
Torija (Castilla)...................	3573	Antillon.
Teruel..........................	3300	Id.
Toledo (El Palacio Arzobispal de).......	2799	Id.
Id............................	2325	
Torrejon de Ardoz..................	2104	
Tendilla........................	2557	
Valencia (Plaza de la Catedral de)......	105	El Baron de la Puebla.
Id............................	114	Cisneros.
Villafranca (Caballete de la Iglesia) Cataluña	1023	
Vallo-Brega (en la montaña de Murcia)....	1544	Mechain.
Venta nueva (Montañas de Santander)....	10521	Peñalver.

Sigue la tabla.

Villalan (Montañas de Santander)......	6930	Peñalver.
Vergara (Guipúzcoa)................	668	Ferrer y Bauzá.
Uribari-Gambóa (Alava)..............	1959	Id. id.
Vitoria (id.)......................	1938	Id. id.
Vigía del camino Villano (Vizcaya)......	957	Id.
Villalta (Castilla).................	2130	Betancourt.
Valdepeñas........................	2319	Id.
Venta del Escudo...................	8415	Id.
Zaragoza..........................	981	Antillon.
Zornoza (Vizcaya).................	240	Ferrer y Bauzá.

47 En virtud de la tabla precedente, parece que no me escederé, si supongo como término medio, que la altura, de que se puede suponer que proviene toda el agua de lluvia de España, sea la altura de Madrid sobre el nivel del mar. Por lo que, haciendo esta hipótesis, que bajo ningun aspecto me parece exagerada, paso á valuar la potencia ó fuerza motriz á que equivalen los 4''457,550'000,000 pies cúbicos españoles de agua, que hemos visto (28) resultan disponibles para establecimientos de industria, suponiendo que descienden de una altura de 2394 pies españoles, que es lo que el Patio principal del Palacio del Buen Retiro de Madrid se halla mas elevado que el nivel del mar; y como para valuar, en un tiempo dado, la fuerza ó potencia motriz de una caida de agua cualquiera, hemos manifestado en la primera parte de nuestra *Mecánica Industrial*, inserta en el tomo 2.° de la 2.ª edicion de nuestro Compendio de Matemáticas, que *se multiplica el peso de toda la cantidad de agua que obra en dicho tiempo por la altura de que cae*, resulta que si multiplicamos 4''457,550'000,000 por 2394, tendrémos 10,671''374,700'000,000. La cual nos quiere decir que *toda la masa de agua disponible en beneficio de la Agricultura y de la industria durante un año en el territorio español de la Península, considerada como fuerza motriz, es equivalente á poder elevar un peso igual al de* 10,671''374,700'000,000 *de pies cúbicos de agua á la altura de un pie español*; ó es la que se necesitaría para elevar un pie cúbico español de agua á la altura de 10,671''374,700'000,000 pies españoles; y como el pie cúbico español de agua pesa unas 47 libras españolas, *dicha fuerza motriz es equivalente á elevar 47 libras españolas á la altura de* 10,671''374,700'000,000 *pies españoles*: ó en otros términos *la fuerza motriz de toda el agua disponible anualmente en España, es equivalente á levantar á la altura de un pie español un*

número de libras espresado por 501'5554""610'9000"000'000, Lo cual equivale á *elevar un quíntal de peso á la altura de cinco mil y quince billones, quinientos cuarenta y seis mil ciento y nueve millones de pies españoles; ó lo que es lo mismo á elevar* 5'015""546'109"000'000, esto es, *cinco mil y quince billones quinientos cuarenta y seis mil ciento y nueve millones de quintales de peso á la altura de un pie español.*

48 Mr. *Dupin* valúa, que la fuerza motriz total de las aguas en Francia guarda con la fuerza motriz del agua que se aprovecha en establecimientos de industria en el mismo pais, la razon de 800 á 1; y por los reconocimientos que yo tengo hechos por mí mismo en ambas naciones, resulta, que en España podrémos suponer una cosa análoga.

Por lo que, la fuerza motriz del agua que se empléa en España, ya en molinos harineros ó de aceite, ya en ferrerías, &c., puede valuarse como equivalente á elevar 13""339'218"375'000 pies cûbicos de agua á la altura de un pie español; ó elevar 6""269'432"636'250 quintales de peso á un pie español de altura; y restando cada una de estas cantidades de su homóloga, resultan aun disponibles para nuevos establecimientos de industria, en beneficio de los Españoles, una cantidad de fuerza motriz que hoy se pierde y está sin uso alguno, causando mas bien daño, equivalente á la necesaria para elevar 10'658""035'481"625'000 pies cúbicos de agua á la altura de un pie; ó la necesaria para elevar 5'009""276'676"363'750 quintales de peso á la altura de un pie español.

49 Examinemos ahora esta fuerzà motriz tan inmensa del agua, que actualmente se pierde, á la de cuantos hombres equivale. Para esto, observarémos que, segun lo espuesto en la primera parte de mi citada Mecánica Industrial (II C), lo mas que un hombre puede hacer al dia es elevar unas 122 libras españolas de peso á unos 3600 pies de altura; lo que equivale á elevar 439200 libras á un pie de altura, ó una libra á 439200 pies de altura, ó un quintal á la altura de 4392 pies españoles, ó 4392 quintales á la altura de un pie.

50 Y como en la actualidad, nuestros jornaleros, descontando aquellos dias que por festividades religiosas, y civiles dejan de trabajar, solo se puede reputar que trabajan 283 dias en todo el año, resulta que *el trabajo efectivo de un hombre, en un año, se puede graduar en España como equivalente á elevar un quintal de peso á la altura de* 1"242'936 *pies, ó* 1"242'936 *quintales de peso elevados á un pie de altura*; y como un pie cúbico de agua pesa

0,47 de quintal, resulta que si dividimos 1'242'936 por 0,47 nos resultará 2'644'545, que espresará los pies cúbicos de agua que un jornalero español podrá elevar en todo un año á la altura de un pie.

51 Dividiendo 5'009''276'676'363'750 por 1'242'936, resultará que la potencia ó fuerza motriz de la cantidad de agua que corre por la superficie del territorio español de la Pinínsula, sin uso alguno, equivale al trabajo de 4'030'196'789 hombres; y como los habitantes de todo el Globo (§ 581 del 2.º tom. de mi Compendio de Matemáticas) se pueden reputar en unos 630 millones; resulta que la fuerza ó potencia motriz del agua, que corre por el territorio español de la Península sin uso alguno, es equivalente á mas de seis veces el trabajo que podrían hacer todos los habitantes de la tierra.

52 Y como la España, segun el censo de la poblacion, en el año de 1797, contenía 10'541'221 habitantes, resulta que repartiendo toda la espresada fuerza motriz del agua, entre éste número de individuos, corresponde á cada Español una fuerza motriz equivalente al trabajo de 382 hombres: es decir, que *á cada habitante de España, comprendiendo tambien los de Ceuta, Presidios menores y de las Islas adyacentes, corresponde el poder disponer de una fuerza motriz de agua, en la Península, equivalente á lo que podrían producir trescientos ochenta y dos trabajadores en un año*; y suponiendo que el jornal de estos trabajadores fuese el de una peseta diaria, resultará que en los 283 dias que hemos supuesto que trabaja, producirá cada hombre 1132 reales, y los 382 trabajadores producirán 432'424 reales.

Si multiplicamos 4'030'196'789 que representa el número de hombres, á cuyos jornales equivale la potencia motriz del agua que hoy no tiene uso alguno en España, por 1132 reales á que equivale el trabajo de cada hombre en un año, tendrémos que el valor efectivo á que equivale anualmente la espresada cantidad de agua considerada como fuerza motriz, es el de 4''562'182'765'148 reales; que, para nuestra idéa de calcular siempre por defecto, supondrémos que sea únicamente 4''562'182'000'000 reales, esto es, *cuatro billones quinientos sesenta y dos mil ciento ochenta y dos millones de reales.*

Si quisiéramos valuar esta potencia motriz del agua que existe en España, sin uso alguno, en la unidad á que llaman *Caballo-vapor*, observarémos que el Caballo-vapor, segun la estimacion de *Watt* en la opinion de Mr. Prony, equivale (nota del § 118 libro quinto) á la fuerza que pueden producir 12,23 pies cúbicos españoles que

caigan en un segundo de un pie de altura; y el esfuerzo del *Caballo-vapor* en una hora, que contiene 3'600 segundos, será el equivalente á la fuerza motriz que causarían 44'028 pies cúbicos de agua cayendo de un pie de altura; y en un dia, que se compone de 24 horas solares de tiempo medio (§ 557 II. C), equivaldrá al esfuerzo que egercerán 1'056'672 pies cúbicos de agua cayendo de un pie de altura; y suponiendo que el año contenga 365 dias cabales, resulta que, *toda la fuerza motriz egercida durante un año por la unidad llamada Caballo-vapor segun la estimacion de Watt*, es el equivalente á la que egercerán 385'685'280 pies cúbicos de agua cayendo de un pie de altura.

Luego si dividimos por este núm. los 5'009''276'676'363'750 pies cúbicos de agua, que, cayendo de un pie de altura, representan la fuerza motriz del agua que hoy no tiene uso ni aplicacion en España, tendrémos el número de caballos de vapor, á que equivale dicha fuerza; y practicando la division, se halla que *la fuerza motriz que puede producir el agua que hoy no tiene aplicacion en España*, equivale á la que pueden egercer 12'987'990 caballos de vapor segun la estimacion de Watt. Y como en virtud de lo espuesto al fin de la primera parte de mi Mecánica Industrial (pág. 255 II C), todas las máquinas de vapor que existen en el universo, representan la fuerza de unos *cuatrocientos mil caballos de vapor*, resulta que la fuerza motriz capaz de egercer el agua que hoy no tiene uso ni aplicacion en España, equivale *á mas de treinta y dos veces el esfuerzo que son capaces de producir todas las bombas de vapor que existen hoy en el Globo.* Y como la unidad de fuerza, denominada *Caballo-vapor* equivale (nota del § 118 libro quinto) á 5,526 veces el *caballo-efectivo*, que nos presenta la naturaleza, si multiplicamos los 12'987'990, por 5,526, resulta que la potencia motriz ó esfuerzo que podrá producir la cantidad de agua, que hoy no tiene uso en España, equivaldrá al de 71'771'633 caballos efectivos, de los que nos presenta la naturaleza.

53 Ahora bien, segun las leyes vigentes, se hallan abiertas en la actualidad las puertas á la industria, y se concede fácilmente el aprovechamiento de las aguas para establecimientos de esta naturaleza; luego por el cálculo anterior, resulta que cada Español puede disponer en la masa de aguas que corren sin uso alguno en nuestro territorio, de una riqueza equivalente á 432'424 reales que (al 3 por 100) corresponde á un capital de 14'414'133 reales, esto es, á mas de catorce millones.

Luego si solo en el ramo de aguas, consideradas como fuerza motriz, todo Español puede disponer de un capital de mas de catorce millones de reales; ¿hay motivo para que los Españoles sean tan pobres? ¿y qué es lo que necesitan para que lleguen á aprovecharse de toda esta suma inmensa de riquezas que hoy nada producen? Dos cosas únicamente: 1.ª que *los Españoles se dediquen con mucho esmero al estudio de las Matemáticas y sus aplicaciones*, que son las que enseñan el modo de hacer uso con oportunidad y ventajas de esta fuerza, que ahora no solo es una potencia muerta que nada produce, sinó que por no tener la competente direccion, causa los mayores estragos, inutilizando las cosechas y destruyendo los campos y las comunicaciones; y 2.ª que *nuestro Sabio Gobierno continúe el camino abierto por S. M. el Señor Don Fernando VII, de allanar las dificultades, disminuir las trabas y estorbos que se oponen al desarrollo de nuestra industria, y asegurar la propiedad del modo mas sólido, permanente y eficaz.*

54 En el cálculo anterior solo he comprendido las aguas de la Península; y al hacer la especie de distribucion de su producto entre los Españoles, los he comprendido á todos, aunque no sean peninsulares, porque deséo mas bien quedarme corto en mis cálculos, á fin de evitar el que se puedan reputar exageradas las consecuencias que deduzco.

55 En Africa y en las Islas adyacentes tienen otra cantidad de aguas que nosotros no hemos comprendido en nuestro cálculo y que distribuida entre sus habitantes, vendrá á producir una riqueza igual sobre poco mas ó ménos á la calculada en la Península; pero si quisiéramos hacer el cálculo con toda exactitud, deberíamos tener en consideracion, que por el mismo censo, resulta que:

La poblacion de Mallorca es.	140699 habitantes.
La de Menorca.	30990
La de Iviza y Formentera.	15290
La de las Islas Canarias.	173865
La de Ceuta.	3002
La de los Presidios menores.	2244
Cuya suma asciende á.	366090

Por consiguiente, descontando esta cantidad de los 10541221 que espresa el censo, resultan 10175131 habitantes en la Península; y en este caso corresponde á cada uno de ellos una suma de riqueza, por la cantidad de accion que produce el agua como poten-

cia motriz, equivalente á lo que pueden producir con su trabajo 396 hombres, que es 4483272 reales de renta anual; lo que (al 3 por 100) equivale á lo mismo que si cada Español peninsular tuviese un capital disponible enteramente á su favor de 1409423400 reales vellon, que es cerca de quince millones.

CAPÍTULO III.

Riqueza que puede proporcionar á la España el fomento de la pesca, en todo el sistema de navegacion interior que se puede y conviene realizar en la Península, segun se hace ver en el libro noveno.

56 Muy pocos datos existen relativos al objeto de este capítulo; pero deseando yo no omitir diligencia alguna para conseguir el importante objeto que me he propuesto, he suplicado á mi amigo don Tomas de Villanova, Catedrático de Zoológia en el Real Muséo de Ciencias Naturales de esta Corte, que se sirviese manifestarme *en cuanto se podría valuar el producto relativo á la pesca de una cierta cantidad de agua dulce contenida en una determinada estension*, á fin de calcular, por la cantidad de agua que en España conviene y se puede emplear en la navegacion interior, y la superficie que debe ocupar, cuanta es la riqueza que la pesca puede proporcionar. Este sabio, elocuente y dignísimo Profesor, aunque estaba muy dispuesto á complacerme, por juzgar que en esto se interesaba tambien el fomento de la prosperidad del Estado, sin embargo, como nada se hallaba escrito sobre este particular, el mismo deséo del acierto y el de no esponerse á suministrar datos equivocados, le retrajo algun tanto de acceder á mis reiteradas súplicas; pero yo le hice presente, que en este género de asuntos siempre se principia por meras indicaciones; que despues, las congeturas dudosas en un principio, van adquiriendo sucesivamente un cierto grado de probabilidad, y con el exámen atento y circunspecto de los hechos que se observen, esperimentos que se hagan, y consecuencias que se deduzcan, van adquiriendo mayor certidumbre; y que aplicando luego á los resultados de la observacion y de la esperiencia los métodos matemáticos que se conocen bajo la denominacion de *métodos de interpolacion*, de tal modo se enlazan los resultados, que en muchos ramos se ha verificado ya el que de ser en un principio un conjunto de nociones vagas,

incoherentes é inciertas, se han llegado á elevar al grado de una verdadera ciencia físico-matemática; se decidió á cooperar por su parte á este grandioso objeto.

57 Con la prudente desconfianza que tiene todo el que conoce la importancia del acierto en estas materias, y al mismo tiempo con el mas vivo deséo de abrir un nuevo campo de investigacion, útil en general para el progreso de las Ciencias, y muy ventajoso para la España en particular, principiamos á conferenciar sobre tan interesante asunto; y aunque hubiéramos deseado que este punto quedase ilustrado mas completamente, sin embargo con los principios en que hemos convenido, y con una observacion que yo tengo hecha en las inmediaciones de París, hay suficiente por ahora para bosquejar de algun modo esta materia, reservando para mas adelante cuantas observaciones podamos hacer, y noticias podamos adquirir.

58 *Principios reconocidos por ciertos.* 1.° Cuanto más contacto tenga la superficie de agua con el aire atmosférico, dada una proporcional profundidad, tantos mas peces podrá mantener; y si á esta misma cantidad de agua se le da un cierto movimiento, para que se combine mas cantidad de aire atmosférico con ella, mas peces podrá mantener.

2.° La profundidad necesaria, para la cómoda subsistencia de los peces, es la de seis veces la mayor distancia desde el dorso del pez hasta la panza ó barriga.

3.° Respecto de las aguas estancadas, se debe tener en consideracion la estacion del tiempo: cuánto mas frio haga, mas peces podrá sostener, porque tiene mayor cantidad de oxígeno en una porcion determinada de aire atmosférico, y lo contrario sucede con el calor, por estar el aire mas enrarecido.

4.° Si el estanque se halla en una altura, por una parte debe ganar por causa del frio, que siempre acomoda á los peces; pero debe disminuir por haber menor presion en el aire, bien que esta diminucion es casi nula en comparacion de la otra.

5.° El agua rebalsada, pero que de cierto en cierto tiempo cae por cascada, es ventajosa; porque al despeñarse el agua, se combina con el aire atmosférico, que es lo que el pez necesita para su existencia.

6.° Los peces acuden de preferencia á las cascadas de los establecimientos donde hay máquinas hidráulicas; y con especialidad á los molinos harineros; porque allí hay ademas el cebo que resulta del polvo harinoso que se difunde en las cercanías.

7.° A igualdad de superficie, el agua corriente produce mas pesca

que el agua detenida parcialmente; pero si una misma cantidad de agua se detiene por medio de esclusas ó presas, el mayor producto será en razon de la mayor superficie que por este medio adquiera el agua. De manera, que se puede establecer en general, que el producto de la pesca, en igualdad de las demas circunstancias, es en razon de la superficie superior que se le dé, profundidad y movimiento, debiendo ser este moderado y contínuo. Importa poco, que el manantial sea grande ó pequeño: lo que importa es que haya mumucha superficie y la profundidad conveniente.

8.° En general, es mejor un estanque de una moderada profundidad con mucha superficie, que no mucha profundidad con poca superficie. Así es, que en los pozos no se crian peces, porque tienen poca superficie; de manera, que conciliando el que la profundidad sea seis veces lo ménos la distancia del lomo á la barriga del pez conviene aumentar la superficie.

9.° En el invierno se sostienen mejor los peces que en el verano.

10.° Es problemático si se puede verificar la cria de la pesca en agua que no tenga ninguna salida; porque entónces solo podrán procrear los anfibios y las anguilas, pero nunca los peces; y esto es porque las anguilas viajan por tierra de noche.

59 Puesto que, en virtud de estos principios, la cantidad de la pesca depende mas bien de la superficie del agua que de la cantidad de esta, calculémos la superficie que ocuparán las aguas que hoy corren al mar por el territorio español sin producir ventajas, suponiendo establecido el sistema de navegacion que proponemos en esta obra.

En el libro 9.° reputamos que toda la línea de navegacion se puede suponer equivalente á 12 veces la del Tajo. A esta se le dan (pág. 12) de la *Memoria sobre la navegacion del Tajo* desde Aranjuez hasta el Atlántico, por el Brigadier Don Francisco Javier Cabanes, unas 120 leguas de á 20000 pies; luego en las 12 líneas de navegacion como esta, se tendrán 1440 leguas. De esto debemos descontar 55 leguas que la línea de navegacion del Tajo podrá reputarse que entra en Portugal; 45 que viene á ser lo que entra el Duero, y unas 40 el Guadiana, que entre las tres componen 140 leguas; por lo que la superficie de las aguas que, en España, ocuparía la navegacion, quedará reducida á 1300 leguas de á 20000 pies cada legua; lo que produce 26∂000∂000; esto es, *veinte y seis millones de pies longitudinales.*

60 Suponiendo que, por término medio, sea 100 pies el ancho, que no es demasiado, resulta una superficie cúbierta de agua de

2②600③000②000 pies cuadrados; esto es, de *dos mil y seiscientos millones de pies cuadrados*, que hacen 31②346 fanegas del marco real.

61 Para calcular ahora cuanta pesca se puede criar en esta estension, necesitaríamos saber la cantidad de pesca que se puede producir en un pie cuadrado de superficie, en una fanega ó en una legua, &c. que es el dato que no existe en los libros que tratan de esta materia. Mas, á falta de este conocimiento, harémos uso de un hecho que hemos observado cerca de París. Efectivamente, en un establecimiento industrial en que había una bomba de vapor, para recoger el agua que esta dejaba correr, despues de efectuada la condensacion del vapor, hicieron una especie de pozo, estanque, balsa ó alberca, sin mas que profundizar un poco el terreno; gastaron dos francos en comprar *tencas*, que echaron en la espresada balsa; y como esta tenía el agua caliente, procreaban las tencas de un modo tan prodigioso, que sacaban cada dia como el valor de *tres francos* en esta especie de pescado. Ahora bien, tres francos diarios equivalen á 4380 reales al año, donde observamos desde luego cuan fecundo es este género de especulacion, pues que *ocho reales* empleados de capital producen anualmente de rédito 4380 reales, lo que equivale á rendir al año *quinientos cuarenta y siete reales y medio por uno*: que no se conoce género de industria que, con ménos riesgos, proporcione tanta ganancia.

62 La estension de la espresada balsa, poza, estanque ó alberca tendría de radio unos 80 pies; lo que viene á equivaler (§ 359 cor. 2.° I. C.) á una superficie de 20106 pies cuadrados. Dividiendo los 4380 reales, despues de reducidos á maravedises, por este número de pies, resulta para cada pie cuadrado un producto anual de mas de siete maravedises. Reduzcamos este producto solo á 2 maravedises, que es ménos de la tercera parte, ya por la diferencia del precio de los paises, ya por la incertidumbre de los datos; y supongamos que el producto, en pesca, de un pie superficial de agua en nuestro territorio sea únicamente el de dos maravedis en todo el año; hipótesis que es muy corta, pero que preferirémos para establecer todos nuestros cálculos mas bien por defecto que por exceso, á fin de que no se nos pueda tachar de exagerados; y tendrémos que los *dos mil y seiscientos millones de pies cuadrados*, que ocuparán las aguas del territorio español, producirían al año *cinco mil y doscientos millones de maravedises*, que equivalen á 152③941②176 reales; pero por las razones acabadas de indicar, supondrémos que el producto de la pesca se estiende solo á *ciento y cincuenta millones*

de reales al año. De lo cual se pueden inferir con facilidad las ventajas directas que resultarían bajo este aspecto, ademas de las muchísimas indirectas que proporcionaría á los Españoles el tener por todas partes abundante, saludable y exquisita pesca para atender á su manutencion, y aliviar sus necesidades.

CAPÍTULO IV.

Valuacion de la riqueza que puede proporcionar el agua que hoy no tiene uso en España, empleada en el trasporte de los frutos, géneros y mercancías por navegacion interior.

63 Siempre que podamos reemplazar nuestras propias idéas, por las de personas de reputacion, que se hayan ocupado del mismo asunto, se verá constantemente, en el discurso de esta obra, que preferimos el tomar de otros los datos convenientes. Por fortuna, en la *Memoria* impresa relativa al proyecto de la navegacion del Tajo, que ya hemos citado (§ 59), encontramos un presupuesto de las ventajas que puede proporcionar dicha navegacion, y asciende á 7⊘120⊘000 reales al año, despues de satisfechos todos los gastos fijos, y ademas un 5 por 100 del capital empleado, segun se manifiesta página 46 de la obra mencionada.

64 Toda la navegacion interior de España, segun harémos ver en el libro noveno, se puede reputar como equivalente á *unas doce veces la riqueza que pueda producir* la navegacion del Tajo. Luego resulta que el agua que hoy no tiene aplicacion en España, empleada en navegacion interior, podrá producir *ochenta y cinco millones cuatrocientos cuarenta mil reales vellon al año*; que, al 3 por 100, corresponde á un capital de *dos mil ochocientos cuarenta y ocho millones.*

CAPÍTULO V.

Reflexiones acerca de que el empléo simultáneo del agua para regar, mover las máquinas, criar pesca y servir á la navegacion, no disminuye el cálculo hecho para el resultado total á que puede ascender el aumento de riqueza que puede producir el oportuno aprovechamiento de las aguas.

65 Resulta pues de los cuatro capítulos anteriores, que el aumento de riqueza que puede reportar la España del oportuno apro-

vechamiento de sus aguas, se debe reputar, por la parte mas corta, en las cantidades siguientes:

Aumento anual de produccion agrícola, segun resulta por el (§ 25).	46'319''686'842 rs. vn.
Renta que puede producir anualmente sirviendo de motor á las máquinas de los establecimientos industriales, segun resulta del (§ 52).	4'''562'182''000'000
Producto que puede rendir en esquisita pesca segun resulta del (§ 62).	150''000'000
Producto que pueden rendir sirviendo al trasporte de los géneros, frutos y mercancías, segun resulta del (§ 64).	85''440'000
TOTAL.	4'''608'737''126'842 rs. vn.

Donde vemos que, por la parte mas corta, se puede obtener al año un aumento de riqueza en nuestra Península, de *cuatro billones seiscientos ocho mil, setecientos treinta y siete millones, ciento veinte y seis mil ochocientos cuarenta y dos* reales vellon; y reputándose por el censo de la riqueza territorial é industrial de España ya citado, que el total valor de los productos naturales de la España peninsular asciende á 4'909''121'246 reales y 8 mrs. *, resulta que el aumento procedente del aprovechamiento de las aguas en los términos espresados *equivale á hacer mas de novecientas treinta y ocho veces mayor la produccion del territorio español de la Península.*

Ahora nos falta hacer ver, que el empléo del agua en uno de estos objetos no perjudica á los demas; es decir, que el aprovechamiento del agua para la Agricultura no impide el que al mismo tiempo sirva de motor en las máquinas, contribuya á la navegacion, y proporcione abundante y esquisita pesca; y que se verifica lo contrario, á saber: que si el agua que corre por el territorio español sin uso determinado se empléa simultáneamente en producir pesca, establecer la navegacion, servir de motor á las máquinas, y proporcionar el regadío tan útil y necesario á la Agricultura, resultan en cada uno de los ramos mas aumento que si el agua se emplease única, sola y esclusivamente en uno de ellos.

67 Consideremos primero el influjo del agua en la Agricultura.

* Véase la nota del (§. 20) de este libro.

Es un hecho reconocido por todos los Agrónomos, que el agua que resulta inmediatamente de la fusion de las nieves no es la mas á propósito para la vejetacion, al ménos en un gran número de plantas, y que acaso podría perjudicar. Luego si el agua, que resulta de la fusion de las nieves, en vez de emplearla inmediatamente en la Agricultura, la obligamos á que permanezca detenida en depósitos, damos lugar á que tome la temperatura del aire ambiente, y se meteorice: con lo cual aumenta de un modo prodigioso su influjo benéfico en la vejetacion. Es tambien otro hecho reconocido por todos, que el agua que sale inmediatamente de los manantiales, y mucho mas la que se saca de los pozos, no solo no es ventajosa para la vejetacion, sinó que le es perjudicial. Luego si en vez de emplear las aguas de los manantiales directa é inmediatamente en el regadío, las conservamos rebalsadas, con el fin de que sirvan á la navegacion, á producir la pesca y á sostenerse á mayor altura para que proporcionen mayor fuerza motriz en las máquinas, el agua adquirirá mas propiedades útiles para servir á la vejetacion.

68 Por otra parte, miéntras á mayor altura se conserve el agua, se podrá con mas facilidad dirigir, con diminucion de gastos, á regar mayor porcion de terreno: con lo cual se consigue que, en vez de ser el agua perjudicial, sea ventajosa; y sin temor de exageracion podríamos establecer que de emplearse el agua inmediatamente como resulta de la fusion de las nieves, como sale de un manantial ó de un pozo, á emplearla de modo que esté rebalsada, podrán graduarse por la parte mas corta en un duplo sus ventajas; resultando una cosa análoga tambien con el agua de los rios.

69 Considerémos ahora las buenas cualidades que adquiere para el dicho efecto sirviendo al mismo tiempo para los otros tres objetos. Una corriente de agua, que se empléa cayendo de una determinada altura, al estrellarse contra una rueda hidráulica, ó al salir de ella &. segun la forma de la máquina, siempre se subdivide mas ó ménos, formando espuma; y esta subdivision le hace combinarse con el ayre, impregnándose de todos sus beneficios. Consideradas bajo otro aspecto las ruedas y máquinas hidráulicas, se observará que contienen siempre partes grasas, de las que se emplean para disminuir los rozamientos; las cuales disolviéndose, ó siendo arrastradas por el agua, hacen que esta sea mas útil para la vejetacion. Ademas, en todo parage donde se halla colocada una rueda hidráulica, resulta que hay gentes, ganados, ó se ejerce alguna manufactura: lo cual origina el que revoloteen en la atmós-

féra, en cierto estado de mas ó ménos descomposicion, gran parte de moléculas procedentes de sustancias vejetales ó animales, que se combinan, disuelven ó arrastran por el agua, que por esta causa viene á ser mas adecuada para la vejetacion. Por manera, que si se hiciesen los correspondientes esperimentos empleando una misma cantidad de agua en regar una porcion de terreno, igual en todas las circunstancias, sin haber servido para mover una rueda hidráulica, y despues de haber servido, se notarían ventajas de mucha consideracion en regar con el agua, despues que ha servido para dar impulso á la rueda hidráulica.

70 Es un hecho, reconocido tambien como exacto, que la naturaleza próvida ha dispuesto de tal modo la existencia de los seres, que se nota por ejemplo una cierta dependencia entre los cuerpos del reino vejetal y los del animal. Los vejetales sirven para el nutrimento de los animales; y los animales cuando se destruyen, sirven de alimento y nutricion á los vejetales; y miéntras unos y otros viven, lo que unos desechan por serles inútil, sirve para nutricion de los otros: observándose por otra parte un órden tan admirable en la naturaleza, que no se hallará parage donde exista un vejetal, que no pueda encontrar tambien su alimento un animal, y *vice-versa.* Por una consecuencia de esta ley general, el agua en que hay peces, se carga de los escrementos de estos, y se impregna de las sustancias, que resultan por su traspiracion, desove &c., las cuales conducidas en disolucion ó suspendidas por las aguas, aumentan sus virtudes vejetativas. Y como los mismos peces destruyen á la par una porcion de vejetales acuáticos y de insectos que suelen anidar en ellos, aumentan cada vez mas y mas los principios nutritivos de los vejetales que arrastran despues las aguas que se emplean en regar.

71 Es notório igualmente que las personas, que van en los barcos, arrojan al agua una inmensidad de despojos; los mismos barcos están compuestos de partes grasas; y como los remos, cables &c. se desgastan y descomponen, todas estas partículas disueltas ó arrastradas por el agua, contribuyen á que adquiera mejores y mayores propiedades vejetativas.

72 De donde podríamos concluir, sin temor de exageracion, que cada una de estas circunstancias podría influir por sí sola, si se considerase aislada, para duplicar las ventajas: luego podrémos establecer que si las utilidades que una cierta cantidad de agua rinde á la Agricultura, corriendo naturalmente, se reputan como 1,

despues de haber estado rebalsadas para que sirvan á la navegacion, á la pesca y á que desciendan por ruedas ó máquinas hidráulicas, resultarán ventajas lo ménos cuádruplas.

73 Considerémos, ahora, el agua empleada para fomentar la pesca. Es un hecho, que una cantidad cualquiera de agua, miéntras mas corriente lleva ocupa menor superficie respecto de la que tiene cuando está rebalsada; por consiguiente, en virtud de los principios que llevamos establecidos (§ 58), una misma cantidad de agua rebalsada, producirá mayor cantidad de pesca que si fuese corriente. Por otra parte, es otro hecho reconocido como exacto, que en las caidas de aguas, que hay en los molinos y otros establecimientos industriales, aquella espuma que forma el choque de las aguas contra las partes sólidas, hace que acudan allí mas peces. Los mismos despojos de los barcos contribuyen al aumento de la pesca; en términos, que por todos estos motivos, resulta que si la utilidad que puede producir el agua en pesca cuando corre naturalmente, la consideramos como una, la que producirá rebalsada para que sirva al mismo tiempo á los otros objetos, será dupla por la parte mas corta.

74 La navegacion no se puede conseguir en general, aun cuando haya el suficiente fondo de agua, si la velocidad de la corriente es demasiada; por lo que rebalsándola para tenerla á mayor altura y que sirva á los demas objetos, se disminuye la velocidad y se estiende mas la navegacion. Por otra parte, estando rebalsada el agua, se meteoriza mas y se carga de las sustancias que resultan de los despojos de la navegacion y de los peces; y como todas estas sustancias ó van en disolucion en las mismas aguas, ó van en suspension arrastradas por ellas, contribuyen á aumentar su peso específico; por lo que los barcos, calando una misma cantidad de agua, podrán llevar mayor cargamento; luego el emplear el agua rebalsada sirviendo al mismo tiempo para la pesca &c. tambien aumenta sus ventajas.

75 Por la razon que acabamos de dar, adquiriendo el agua mayor peso específico, se aumenta su fuerza motriz (en virtud de lo espuesto en la primera parte de nuestra Mecánica Industrial). Luego queda demostrado, del modo mas convincente, que el empléo simultáneo del agua para los cuatro objetos aumenta su influjo de un modo muy estraordinario, respecto de si se considerase cada uno aisladamente.

76 Hagamos una ligera indicacion acerca de los gastos. Supongamos que para satisfacer las necesidades de la Agricultura ó de la

industria, se necesitan rebalsar las aguas de un rio, por medio de una presa, con el fin de sacar agua para alguna acequia, caz ó canal. Lo que sucede generalmente es que se aprovecha una porcion muy corta de agua, cayendo la demas en forma de cascada por encima de la presa, ó escapándose por las junturas de las piedras ó maderos con que está formada. Pues, el hacer esto de modo que ninguna cantidad de agua rebose, sinó que toda ella se distribuya por diferentes canales, para que sirva á la industria y á la Agricultura, podrá costar lo mas el doble; por manera que duplicando el gasto, no solo se consigue una utilidad dupla, sinó lo ménos céntupla.

77 Resta, pues, ahora investigar si la consecucion simultánea de estos cuatro objetos se puede conseguir, sin que el agua empleada en la Agricultura disminuya la cantidad de agua como motor, ó en general, si el empléo simultáneo del agua en estos cuatro objetos puede disminuir los productos de la cantidad de agua que hemos calculado en los dos primeros capítulos.

Teniendo el agua rebalsada, se sufren dos clases de pérdidas; la una procedente de la evaporacion, y la otra procedente de las filtraciones. La que se escapa por las filtraciones, vuelve á aparecer en los parages mas bajos, por los procedimientos y circunstancias indicadas en la Introduccion; luego esta no disminuye la cantidad absoluta de agua en el territorio español; lo que sí sucederá es que disminuirá algun tanto como potencia motriz; pues toda la cantidad de agua correspondiente al desnivel que hay desde el parage en que se introduce en la tierra por la filtracion, hasta el punto de salida, es un motor que no sirve para la industria; pero esta diminucion será mas que compensada por el aumento que origina la circunstancia que vamos á indicar.

78 La cantidad de agua que se evapora es á proporcion de la superficie que ocupa; y siendo mucho mayor la superficie de las aguas cuando permanecen rebalsadas, que cuando son corrientes, no hay duda que habrá mayor cantidad de evaporacion; pero esto mismo producirá mayor cantidad de rocío, relente, lluvia &c.: de manera, que el agua que por el dia se evapora, caerá despues otra vez á la tierra por la noche y no causará diminucion. Por otra parte, como la mayor porcion de vapores, segun hemos manifestado en la Introducion, se condensa en la proximidad de las montañas, vienen á depositarse en un parage mas alto; y esta mayor altura á que se tienen trasportadas las aguas por el efecto de la evaporacion, aumenta su fuerza motriz, de un modo muy superior á la diminucion

de la misma fuerza que puede resultar por la pérdida que originan las filtraciones. Luego en ningun sentido puede temerse diminucion de las aguas; y en caso de haber alguna, será tanto ménos sensible, cuanto mas se auxilie con los medios secundarios de la propagacion de arbolados.

79 Veamos lo que debe resultar del empléo del agua en la Agricultura. A primera vista, parecerá que atajando enteramente un rio y empleando el agua en regar, ya no puede servir de motor para las máquinas industriales, y por lo mismo, que el empléo del agua en la Agricultura se halla en contradiccion con su valor ó empléo como fuerza motriz. Sin embargo, esto no es tan exacto como parece á primera vista, y acaso se verificará lo contrario.

Con el objeto de aclarar suficientemente este punto, debemos observar, que empleando una cierta cantidad de agua en regar, su efecto es el siguiente: una parte se introduce en el seno de la tierra, se filtra en lo interior y va á salir á mas ó ménos distancia por las partes mas bajas, de manera, que esta porcion volviendo á aparecer, puede servir nuevamente para regar; solo se pierde una parte análoga empleada como motor. Otra porcion se descompone, se asimila á las partes de los vejetales, se fija en ellos aumentando sus partes sólidas, en las que predomina siempre el hidrógeno, que es uno de los factores del agua; y queda formando los jugos de los frutos; lo que no se puede poner en duda al comer los melones, las uvas, las zandías &c. &c. Toda esta porcion de agua se pierde enteramente y no puede contribuir, ni para regar despues, ni para navegacion, pesca, ni fuerza motriz; pero como, al hacer la distribucion de las aguas, nos resultaron (§ 18) sobrantes, despues de satisfechas todas las necesidades de la Agricultura, mas de la sesta parte de la cantidad de agua calculada, no aventuraremos mucho en suponer que esta cantidad se podrá considerar como mas que la equivalente para compensar la consumida por la mencionada causa.

80 La otra porcion de agua se difunde por la atmósfera, ya por la evaporacion, ya por la traspiracion de las plantas; y como esta se condensa en la parte mas alta de las montañas, y caerá inmediata á sus faldas; resulta que esta cantidad de agua no se pierde, pues vuelve á la tierra; y cayendo generalmente á mayor altura, que la del parage donde se eleva, producirá una fuerza motriz capaz de indemnizar mas que suficientemente la pérdida que causa la misma fuerza que no ejerce la porcion que se empléa en el aumento de las partes sólidas de los vejetales, y en los jugos de sus frutos.

81 Resulta, pues, que el empléo simultáneo del agua natural, que corre por el territorio español, en regar, en producir pesca, en facilitar la navegacion, y en que sirva de motor á las máquinas, mas bien debe contribuir á que sus ventajas sean mayores, que á disminuirlas. Y aunque yo estoy seguro de esto, para no incurrir en la tacha de exagerado, supondré que se compensan sus ventajas con los inconvenientes.

Otro beneficio importante que resultaría del aprovechamiento de las aguas en los términos que proponemos en esta obra, sería el evitar los contínuos y tremendos estragos que originan las avenidas, de que son documentos muy auténticos nuestra gaceta y demas periódicos *; y reservándonos para el libro décimo el demostrar que el empléo del agua en los términos que proponemos, en vez de producir perjuicios á la salud pública bajo ningun aspecto, resultarán al contrario innumerables ventajas, limitarémos nuestros asertos solo á la suma que hemos deducido (§ 65): la cual repartida entre los 10②541③221 habitantes, que, segun el censo ya citado, existen en España; corresponde á cada Español anualmente un aumento de riqueza de *cuatrocientos treinta y siete mil doscientos diez* reales vellon, que, al 3 por 100, corresponde á lo mismo que si en favor de cada Español se pudiese disponer de un capital de *catorce millones quinientos setenta y tres mil seiscientos sesenta y seis reales vellon.*

82 El objeto de la presente obra es manifestar los medios por los cuales se puede obtener con facilidad y sin perjuicio de nadie, un objeto de tan grande importancia. ¡Feliz yo si puedo contribuir en todo ó en parte á proporcionar este inmenso beneficio! Por lo que á mi toca, puedo asegurar que no he perdonado medio ni fatiga, y que no omitiré diligencia alguna que pueda cooperar á este grandioso é importante objeto; y aun cuando se quisiera suponer de todo punto ilusoria mi esperanza, no por eso creo deban apreciarse ménos mis esfuerzos: pues que en todos tiempos y circunstancias se ha reconocido el que *in magnis, voluisse, sat est.*

---

* Al acabarse de poner esto en limpio, me avisaron que, á causa de las muchas lluvias y derretimientos de nieves, crecieron tanto los rios de España, que hasta el humilde Manzanares el dia 13 de abril de 1831 produjo tal avenida, que arruinó varias casas y destruyó los lavaderos con otras muchas pérdidas de consideracion: y á no ser por el celo de las Autoridades, hubiera perecido gran número de personas.

LIBRO SEGUNDO.

Resúmen histórico de los conocimientos hidráulicos hasta nuestros dias, indicando las obras mas sobresalientes sobre esta materia.

PRIMERA ÉPOCA.

Comprende hasta el tiempo de Galiléo.

1 La teoría matemática del movimiento de los fluidos y líquidos no se ha llegado á presentar de un modo rigoroso y profundo hasta que las otras partes de la Mecánica racional estaban muy adelantadas. Lo cual proviene de que, en general, los progresos de los diversos ramos de las Ciencias dependen del grado de dificultad que presentan sus investigaciones; por lo que la solucion de las cuestiones del equilibrio, tanto de los cuerpos sólidos como de los fluidos, ha debido ser muy anterior á la de los problemas relativos al movimiento: así se ve, que han trascurrido 18 siglos entre el descubrimiento de los primeros principios de la Estática y de la Hidrostática, debidos á Arquimedes, y el de algunos principios elementales de Dinámica é Hidrodinámica, debidos á Galiléo y á sus discípulos.

2 En efecto, Arquimedes que floreció unos 250 años ántes de la Era cristiana, es el primero que ha descubierto el principio científico del equilibrio de la palanca, uno de los mas fundamentales de la Estática elemental; pero nada tenemos de él sobre las leyes del movimiento. Y si la Mecánica de los cuerpos sólidos ha sido tan lenta en formarse, no debemos estrañar que lo haya sido mas la de los fluidos; pues aun suponiendo que se hubiesen llegado á determinar geométricamente las condiciones del equilibrio y del movimiento respecto de un sistema de cuerpos sólidos, el mismo método no se

hubiera podido aplicar directamente á una masa fluida, cuyos elementos no se conocen ni en número, ni en figura, ni en masa, ni en volúmen; ni tampoco se sabe si las moléculas fluidas están dotadas, por alguna causa secreta, de movimientos interiores independientes de los que la pesantez ú otras fuerzas conocidas pueden comunicarles.

3 Era necesario, pues, que la esperiencia ó alguna propiedad particular de los fluidos, viniese en un principio á formar el puente de comunicacion de una ciencia con la otra; y estableciendo de una vez las bases fundamentales de la Mecánica de los fluidos, los problemas que dependen de ellas se resolverían por la Geometría y el cálculo, de la misma manera que los de la Mecánica ordinaria.

4 Arquimedes, á quien se deben tambien los elementos de la Hidrostática, ha presentado los fundamentos de esta ciencia en su tratado *De Insidentibus Humido*, sobre el principio simple, fecundo y confirmado por la esperiencia, de que *un punto cualquiera de una masa fluida en equilibrio, sufre igual presion en todos sentidos*; y hace despues aplicacion de esta teoría en general al equilibrio del triángulo, del cono y del paraboloide, cuando están sumergidos en un fluido. Este tratado, que consta de dos libros, es sin disputa uno de los mas preciosos monumentos de su ingenio; pero el tiempo del nacimiento de la Hidráulica estaba aun muy remoto.

5 Dos Matemáticos de la Escuela de Alejandría, *Ctesibio* y *Heron* su discípulo, como un siglo despues de Arquimedes, inventaron algunas máquinas hidráulicas muy ingeniosas, cuyo modo de obrar dependía del resorte ó peso del aire puesto en actividad: tales son las bombas, que hacen servir al aire de vehículo de la fuerza motriz, y la *fuente de compresion*, llamada generalmente *fuente de Heron*, en la cual el agua se eleva sobre su nivel en virtud del aire que en ella se ha condensado. Entre los adelantamientos debidos á *Ctesibio*, no podemos dejar de llamar la atencion sobre la construccion de los *Clepsidros ó relojes de agua*; pues dicho Matemático sacó un partido muy ventajoso del movimiento de este líquido para subdividir la duracion de los años y de los dias. Las idéas del agua que corre, y del tiempo que huye, escitan al compararlas, imágenes agradables, de que la Filosofía, la Elocuencia y la Poesía, no podían dejar de apoderarse; y el Clepsidro de *Ctesibio* presenta el mas ingenioso egemplo. No puede ménos de causar una secreta y dulce melancolía ver el agua escaparse en forma de lágrimas, por los ojos de una figura que parece pagar este tributo de sentimiento, pena y dolor á los instantes que pasan. Esta agua va á parar á un depósito,

en el cual hace que se vaya elevando otra figura que flota en él, teniendo una varilla por cuyo medio y el de su ascension gradual indica las horas en una columna; el mismo fluido sirve despues de motor en lo interior del pedestal á un mecanismo por cuyo medio la columna hace una revolucion al rededor de su eje en un año: de tal suerte, que el mes y el dia en que uno se halla está siempre bajo el índice.

Los antiguos nos han trasmitido otras varias máquinas hidráulicas, tales como la *Coclea ó rosca de Arquimedes*, *el sifon*, *los molinos de agua*, *las cadenas de cangilones*, &c.; y tanto los progresos de la civilizacion, como las necesidades urgentes de los pueblos, han obligado á hacer aplicaciones de los efectos del movimiento ántes de conocer sus leyes; y considerando este movimiento respecto de las aguas corrientes, debemos hacer justicia á los Romanos, por haber tenido sobre este particular una superioridad eminente con relacion á todos los pueblos del Mundo.

6 Así es, que ellos habian elevado para la conduccion de las aguas los mayores monumentos, mucho tiempo ántes de conocer las Ciencias y las Artes de la Grecia; y despues atrajeron á Roma los Hidráulicos y obreros mas hábiles, y egecutaron en la mayor parte de los paises sometidos á su dominio, acueductos, puentes, puertos, &c., de que todavía existen magníficos monumentos.

7 Se atribuyen á *Sexto Julio Frontino* las primeras nociones un poco exactas que se han tenido acerca de las leyes del movimiento de los fluidos. Inspector de las fuentes públicas en Roma, en tiempo de los Emperadores Nerva y Trajano, dejó sobre este particular una obra intitulada: *De aquæductibus urbis Romæ commentarius.* El considera en ella el movimiento de las aguas que corren en canales, ó salen por orificios de los depósitos ó vasos que las contienen; describe los acueductos de Roma; fija y compara las medidas ó módulos de que se servían para determinar la cantidad de agua que suministran los diferentes orificios; y manifiesta los medios de distribuir las aguas de los acueductos, fuentes, &c. Hace observaciones juiciosas sobre estos diversos objetos, entre las cuales citarémos como de la mayor importancia, la de que *el producto ó cantidad de agua, que sale por un orificio, debe valuarse, no solo por la magnitud de su superficie, sinó que es necesario atender tambien á la altura del depósito*; consideracion muy simple, juiciosa y exacta; y que sin embargo dice *Bossut*, ha sido despreciada por algunos fontaneros modernos. Dicho Autor conoció tambien que

un tubo destinado á tomar una cierta cantidad de agua de un acueducto, debe tener, segun las circunstancias, una posicion mas ó ménos oblícua con relacion al curso del fluido, etc. Pero no se encuentra por otra parte ninguna precision geométrica en sus resultados, ni conoció la verdadera ley de las velocidades con relacion á las alturas de los depósitos.

SEGUNDA ÉPOCA.

Comprende desde el tiempo de Galiléo hasta el de Daniel Bernoulli.

8 Las Letras y las Artes estaban ya en decadencia en tiempo de Frontino; y bien pronto la Europa fué sumergida en la mas espantosa barbarie. Esta oscuridad profunda duró cerca de 13 siglos; y el espíritu humano principió á salir de este letargo por el renacimiento y proteccion que recibieron en Italia las Artes de agrado, que llegaron á brillar con el mismo esplendor que en los hermosos tiempos de Grecia y Roma, y fueron penetrando poco á poco desde allí en los pueblos vecinos. La Filosofía Natural, esto es, aquella parte de los conocimientos humanos que se propone esplicar con exactitud los fenómenos de la Naturaleza, procedió mas lentamente, á causa de que, como ella no usa de los adornos, y busca la verdad con toda sencillez, prestaba pocos atractivos á los que solo trataban de coger las flores de la imaginacion.

9 Sin embargo, la renovacion de las Ciencias siguió por grados á la de las Letras y de las Artes; y la Italia tuvo aun la gloria de presentar los primeros frutos en esta especie de regeneracion del entendimiento humano. *Galiléo*, uno de los mas sobresalientes genios que ha producido, mereció ser llamado el *Padre de la Filosofía Natural moderna*, ya por sus descubrimientos estraordinarios, y ya tambien por su teoría de la aceleracion de los graves. El sospechó la pesantez del aire; y esta sospecha, comunicada á *Torricelli* el mas ilustre de sus discípulos, fué como un rayo de luz, que condujo á este á demostrar real y efectivamente la pesantez del aire, por una multitud de esperimentos ingeniosos, y á dar la verdadera esplicacion del ascenso del agua en las bombas, y del mercurio en el barómetro.

10 La Italia, ya por las grandiosas tradiciones que conservaba, ya por las necesidades de su terreno, cruzado en diversos sentidos por torrentes y rios, propensos á inundaciones, y á desolar con ellas

las campiñas comarcanas, se vió precisada á examinar el movimiento de las aguas corrientes en la superficie del Globo: lo cual le ha hecho conservar por espacio de muchos siglos, la preeminencia romana en materias de Hidráulica; y no se puede poner en duda, que las obras publicadas por sus Matemáticos, y por sus Ingenieros, despues de Galiléo, han influido considerablemente para que la Hidráulica aplicada haya dejado de ser un arte meramente *empírico*, para convertirse en un verdadero ramo de las Ciencias *físico-matemáticas*.

11 En efecto, el curso de las aguas, en la superficie de la tierra, atrajo la atencion de *Castelli*, discípulo tambien de Galiléo; y en un pequeño tratado, que salió á luz en 1628, *Castelli* esplicó muy claramente algunos fenómenos del movimiento de las aguas en un canal natural ó artificial de figura cualquiera; establece que *cuando el agua llega á tomar un estado regular y permanente*, que es lo que hoy se llama *régimen* en los canales, rios, &c., *las velocidades en las diferentes secciones, hechas perpendicularmente á la direccion del movimiento, están en razon inversa de las superficies de estas secciones*: principio verdadero y de que *Castelli* deduce muchas consecuencias exactas; pero se equivocó en la medida absoluta de la velocidad.

Torricelli tuvo un éxito mas feliz en la investigacion particular de la velocidad de las aguas á su salida de un vaso por un pequeño orificio; pues dedujo que, *haciendo abstraccion de la resistencia de los obstáculos, las velocidades de los chorros seguían la razon de las raices cuadradas de las presiones*; proposicion que se confirmó por los esperimentos que *Rafael Magiotti* hizo en aquel tiempo sobre los productos de diferentes tubos aditicios bajo diversas cargas de agua. *Torricelli* publicó su descubrimiento en 1643 á continuacion de su pequeño tratado de *Motu gravium naturaliter accelerato*. Con lo cual la Hidráulica, en la parte relativa á los desagües por pequeños orificios, vino á ser una verdadera ciencia, de que la práctica sacó grandes ventajas para beneficio de la humanidad. Pero en el desagüe por orificios un poco grandes con relacion á las secciones horizontales del depósito, la velocidad sigue una ley mucho mas complicada, que la Geometría y la Analísis en tiempo de *Torricelli* no podían descubrir.

12 Para convencerse de los justos títulos que tiene la Italia al reconocimiento público, por sus numerosas, apreciables é importantes investigaciones acerca del movimiento de las aguas, basta examinar

la instructiva é interesante coleccion intitulada *Racolta d' autori che trattano del moto dell acque* &c. impresa en Florencia el año de 1774 en 9 volúmenes en 4.°

Pondrémos aquí los estractos de seis de las obras contenidas en esta preciosa coleccion, porque nos serán muy útiles para diversas investigaciones.

13 La primera tiene por título: *El mar Adriático y sus corrientes* examinadas por *el Doctor Geminiano Montanari.*

En el siglo 16 se empezó á conjeturar por varios indicios, que el fondo del mar Adriático y la superficie de sus aguas se elevan poco á poco por la sucesion del tiempo. Las observaciones posteriores y que se repiten contínuamente, han hecho ver que aquella conjetura es una verdad constante. Algunos sábios, contemporáneos de *Montanari*, pensaban que la elevacion del fondo de dicho mar provenía, al ménos en mucha parte, del cieno y arena que el antiguo *Piave* conducía allí sin cesar. En 1684, *Montanari* impugnó con energía esta opinion en el discurso de que tratamos. Sostuvo que la causa principal del efecto indicado era la reunion de las materias llevadas por una corriente, que partiendo del estrecho de Gibraltar, sigue la orilla del Mediterráneo á lo largo de las costas de Berbería, y que despues de haber dado la vuelta al mar Adriático y al Mediterráneo viene á salir por la parte del estrecho de Gibraltar próxima á la España. La existencia de esta corriente está probada por la diferencia de tiempo que gasta un barco, en iguales circunstancias, para ir de Venecia á la Isla de Corfú, y para volver despues por el mismo camino de Corfú á Venecia, habiéndose observado que para lo primero es necesario mucho mas tiempo que para lo segundo. *Montanari*, despues de muchas advertencias sobre la velocidad de estas corrientes y la de los rios que desembocan en el Adriático, concluye, que *era indispensable la reunion de tres circunstancias para que el antiguo Piave arrastrase las arenas y cieno hasta el puerto de S. Nicolás*, á saber: 1.ª *que estas materias tardasen tres dias en el camino*; 2.ª *que durante estos tres dias el mar conservase el mismo estado*; 3.ª *que los huracanes del mar y las avenidas ó crecientes del rio se verificasen al mismo tiempo*: y el concurso de todas estas circunstancias es demasiado fortuito, para que pueda mirarse con alguna apariencia de verdad, como la base de una esplicacion física.

14 *Discurso de Viviani sobre el modo de impedir el que se cieguen y corroan las madres ó álveos de los rios, aplicado al Arno.*

Viviani principia por hacer ver en este discurso que la madre del Arnó se eleva contínuamente; lo que está probado, tanto por la caida de los molinos, como por la comparacion de los diferentes puntos de sumideros, y lo que en efecto debe suceder por el embarazo de las piedras, cascajo y arena que el agua lleva consigo, y deja reposadas. Propone despues los medios para precaver la elevacion de la madre del Arnó, y para evitar los inconvenientes de las grandes inundaciones á que está sujeta la ciudad de Florencia. Su proyecto consiste en levantar los bordes al Arnó sobre Florencia, construir en los sitios correspondientes, diques y pesqueras para detener las piedras y arenas, y hacer en los valles inmediatos, depósitos para recibir parte de las aguas que de allí podian pasar á reunirse con el Arnó por encima de Florencia; pero este proyecto, á cuya ejecucion se dió principio, no se ha continuado, y se observa que desde *Viviani* la madre del Arnó se eleva cada vez mas.

15 *Tratado de la naturaleza de los Rios por Guglielmini con notas de Eustaquio Manfredi.*

Este tratado, que tuvo en su tiempo la mayor aceptacion, merece aun en el dia la atencion de todos los sábios Hidráulicos. *Eustaquio Manfredi* aumentó las últimas ediciones con instructivas notas haciendo la distribucion en 14 capítulos.

Los tres primeros contienen definiciones y nociones generales sobre el equilibrio de los fluidos, origen de los rios, fuentes &c. *Guglielmini* queriendo esplicar matemáticamente el equilibrio de los fluidos, los considera como compuestos de moléculas esféricas; suposicion enteramente arbitraria, y que presenta obstáculos en las demostraciones.

En el capítulo 4.° trata, segun la doctrina de Galiléo de la aceleracion de los graves, del movimiento del agua que cae verticalmente, ó que desciende á lo largo de un álveo inclinado al horizonte. Intenta aplicar á los resultados de la teoría, las modificaciones que exigen la resistencia del aire, el rozamiento, y en general todos los obstáculos que puede encontrar el agua en su curso y que destruyen parte de su velocidad.

El objeto del capítulo 5,° es la situacion de la madre de los rios, esto es, su profundidad, su anchura y su pendiente ó declive. Aquí principia el Autor á *anatomizar* (sirviéndonos de su espresion) el álveo de los rios. Entremos con él en algunos pormenores. Establece que el agua se moverá, con tal que esté mas elevada que el sitio hácia el que debe correr. Así, un rio, cuya superficie es hori-

zontal, no dejará de correr, si hay un desaguadero colocado un poco mas bajo que su superficie. En el actual estado físico de las cosas, las madres de los rios están inclinadas por lo ménos en la mayor parte de su estension. Sus diferentes inclinaciones y sinuosidades dependen de la resistencia del fondo y de los obstáculos que el agua encuentra en ellos.

El agua de un rio, en virtud de su rozamiento contra el fondo y las orillas del álveo, desprende necesariamente tierra ó arena que arrastra en su corriente: de esta manera, el rio debe profundizarse y ensancharse, efectos que tendrán lugar mientras que la fuerza del agua no encuentre una resistencia igual que la destruya. Pero como la madre del rio, al ensancharse, pierde poco á poco su pendiente, y la velocidad primitiva disminuye en virtud de las sinuosidades ó revueltas del álveo, y por otra parte las tierras á una profundidad mayor, tienen mas tenacidad, sucede al fin, que llegan á equilibrarse la fuerza de las aguas y la resistencia de las tierras. Si para turbar este equilibrio se coloca algun obstáculo en el rio, la fuerza del agua luchará contra él; y de un modo ó de otro, restablecerá poco á poco el estado de equilibrio. Los rios deben dejar de profundizarse mas bien que de ensancharse, por dos causas poderosas, á saber: la tenacidad del fondo, y la diminucion de la velocidad concurren para impedir que se profundice su lecho; pero al propio tiempo la diminucion de la pendiente y la velocidad deben aumentar la altura del agua en el rio: de donde resulta un aumento en la presion y por consiguiente tambien en el rozamiento, que influye para arrastrar la tierra de las orillas del álveo y hacerla precipitar en el rio. Por esta causa, en circunstancias iguales, los rios que corren por madres de materias homogéneas y de poca consistencia, son mucho mas anchos que profundos. Tales son el Po en Lombardía, el Reno &c.

No todos los rios forman su álveo del mismo modo; pues es cierto por ejemplo, que una misma corriente escava y arrastra con mas facilidad un fondo de arena, que otro, compuesto de piedra caliza ó casquijo. Pero supongamos que se den la fuerza del agua, y la resistencia del terreno, y veamos el efecto preciso que debe resultar de la combinacion de estas dos fuerzas.

Con este objeto, concibamos muchos planos de una misma longitud, y con diferentes inclinaciones al horizonte; y que un cuerpo grave corra por ellos sucesivamente; en este caso, el peso relativo de dicho cuerpo es tanto mayor cuanto el plano sobre que se mueve se acerque mas á ser vertical. Ahora, si se concibe que los planos pro-

puestos estén llenos de asperezas que resistan al movimiento del cuerpo, se observará que si este ha de tener igual velocidad, es indispensable añadir á la pesantez relativa una fuerza estraña, tanto mayor cuanto el plano sobre que se mueve el cuerpo, se acerca mas á ser horizontal. Luego en igualdad de circunstancias, los obstáculos de los planos resisten con tanta mas ventaja cuanto estos se acercan mas á ser horizontales.

Lo mismo sucede con el terreno que forma el álveo del rio; mientras mas se aproxima este á ser horizontal, tiene mas consistencia, y por consiguiente opone mas obstáculo á la fuerza de la corriente.

De aquí se sigue, que si la inclinacion del fondo es suficiente para impedir la corrosion que produce la fuerza de la corriente, y esta se aumenta, propenderá á escavar y á ensanchar el álveo. Pero cuando una seccion latitudinal y perpendicular al rio aumenta, disminuye necesariamente la velocidad, ó corresponde á menor declive. Así, al paso que un rio se aleja de su orígen, ó se acerca al mar, y al paso que se aumenta la cantidad del agua ó su fuerza, debe necesariamente disminuir mas y mas su declive, como lo acredita la esperiencia. De donde proviene principalmente, que si muchos rios se reunen, el álveo comun tiene ménos declive que el que tenían cada uno de ellos ántes de reunirse.

Cuando un rio lleva por todas partes una misma cantidad de agua, puede considerarse el fondo como rectilíneo en una corta estension; pero en un espacio dilatado forma el fondo realmente una curva.

Si dos rios, desiguales en masa, tienen igual velocidad, el mas considerable, á igualdad de circunstancias, tendrá ménos declive; pues en tal caso la fuerza mayor de la corriente debe ser contrarestada por la mayor resistencia que proviene de la menor inclinacion del álveo.

Cuando un rio, en virtud de una velocidad primitiva, tiene fuerza para corroer el fondo, este llegará á hacerse horizontal; porque si se pretende que puede conservar algun declive sensible, resultará un aumento de velocidad, y por consiguiente tambien de fuerza. Y como se supone que en su primer estado la corriente podia escavar el fondo, resulta que aumentada su fuerza, producirá con mas razon el mismo efecto; y por consiguiente hará que el fondo venga á ser horizontal.

De aquí se sigue, que si se aumenta la fuerza del agua, crecerá tambien el álveo; pero no padecerá alteracion su situacion horizontal, con tal que sea una misma la resistencia del terreno, y concurran todas las demas circunstancias del mismo modo.

Si el álveo de un rio, que ha venido á ser horizontal en algun parage, se estrecha en la parte inmediata, se formará por uno y otro lado un *contra-declive*, cuyo ángulo será socavado contínuamente, y el álveo en la parte segunda se irá aproximando á la posicion horizontal.

Habiendo establecido el Autor que, dada la resistencia del terreno, miéntras mas fuerza tiene la corriente, ménos declive tiene el rio, concluye, que dada la fuerza de la corriente, miéntras mayor es la tenacidad del terreno, mas declive tendrá el rio. De donde proviene, que los rios, cuyo fondo se compone de piedra caliza, ó toba, tienen mas declive que aquellos cuyo fondo es de arena ó limo.

Cuando el fondo se compone de piedras, de arena gruesa, y de otras materias que el agua puede llevar consigo, será su declive tanto menor, cuanto ménos peso específico tengan dichas materias; porque miéntras ménos pesadas sean estas, ménos resistirán al agua, y por consiguiente mas fuerza tendrá la corriente para socavar el álveo, y hacerle horizontal. Ademas de esto, la configuracion de las mismas materias puede oponer mas ó ménos obstáculos al choque del agua, lo que tambien debe ocasionar variedad en la velocidad y declive. Los rios que corren entre montañas, ó cuyo fondo es de roca, deben tener y tienen en efecto, mas declive que los rios que corren por lo llano; porque el fondo de estos se compone generalmente de arena.

Como los mas de los rios, en la parte superior de su curso, tienen su álveo lleno de piedras gruesas, y estas disminuyen su tamaño á medida que se apartan de su orígen, se ve que, en los rios que corren en un fondo pedregoso, debe este formar una curva cóncava que, apartándose de su orígen, forma ángulos cada vez mas pequeños con el horizonte. Igualmente, si un rio corre entre dos montañas en un fondo de cascajo y sale despues al llano, cuyo fondo de arena sea uniforme en todos los puntos, se compondrá todo el fondo de dos curvas, la una cóncava y la otra convexa, que tendrán un punto comun.

Si un rio corre por un fondo que resista á la escavacion, y esta exige cierto tiempo para llegar al punto que se requiere, por la fuerza de la corriente combinada con la resistencia del terreno, y se supone despues, que ántes que aquella se acabe, recibe el rio nueva materia de la misma especie que el fondo, el rio arrastrará tras sí aquella materia, ó escavará el fondo de nuevo; de modo que podrá considerarse este como establecido entre dos términos de los cuales el uno corresponde á la mayor altura que la nueva materia pueda oca-

sionar, y el otro á la mayor profundidad á que realmente ha llegado la escavacion. La elevacion y la bajada del agua producen variedades en la fuerza de la corriente; por lo que siempre es indispensable atenerse á los resultados medios.

Un torrente que entra en un rio, lleva consigo no solamente agua, sinó tambien materias estrañas; de donde resultan mudanzas en el álveo del rio. Y en virtud de lo que precede, mientras mas pequeña sea la duracion de la crecida del torrente, ó mientras esta sea menor, ó se verifiquen á un tiempo ambas circunstancias ó produzcan su efecto á la vez, tendrá el rio ménos declive.

Cuando las materias estrañas al agua, conducidas por el torrente, lleguen á caer en el fondo del rio, necesariamente han de levantarle; cuando cese el curso del torrente dichas materias serán trasportadas por la corriente del rio. Si para producir este efecto, es necesario mas tiempo que el que media entre dos afluencias consecutivas del torrente, no podrá reducirse el fondo al menor declive, que exigen la fuerza del agua y la resistencia del terreno; pero este fondo se fijará entre dos términos, uno el que corresponde á la mayor escavacion, que puede hacer el agua del rio, y el otro á la mayor elevacion que puede ocasionar la materia conducida por el torrente.

El capítulo 6.° es una aplicacion de los principios precedentes á las direcciones que toman los álveos de los rios; y establece que todo movimiento es esencialmente rectilíneo, y que un móvil no se separa de esta direccion, sinó cuando se ve obligado á ello por alguna causa esterior. Luego los rios seguirían su curso en línea recta si no hubiese nada que lo impidiese; pero la desigual resistencia del terreno, los depósitos que se forman por lo que acarréa el agua, los obstáculos naturales ó artificiales que el agua encuentra, producen en el fondo y en las orillas, recodos y sinuosidades de toda especie.

El arte de arreglar el curso de los rios y contenerlos en sus álveos, supone un perfecto conocimiento de la naturaleza de las tierras por donde han de correr, y de las crecientes que pueden verificarse. *Guglielmini* establece, acerca de este particular, algunas proposiciones elementales sobre la direccion que debe tomar un cuerpo arrojado sobre un plano inclinado, ya se mueva por la accion sola de la gravedad, ya se combine su fuerza con un movimiento de proyeccion. Pero nosotros, solo nos ceñirémos á esponer con brevedad sus principales resultados.

Cuando el curso de un rio rectilíneo, cuyos bordes son paralelos, se halla de todo punto establecido, no hay razon, procedente del

mismo rio, para que el álveo cambie de direccion ni de figura; por lo que todas las variaciones que pueden sobrevenir dependerán de causas estrañas. Supongamos, por ejemplo, que la seccion latitudinal y perpendicular á la corriente del agua sea un paralelógramo rectángulo; esta figura subsistirá mientras el rio permarezca en el mismo estado; mas si por alguna causa recibe materias estrañas, como por la afluencia de un torrente, la seccion mudará de figura; las orillas que por lo comun tienen ménos resistencia que el fondo, se desgastarán y se formará un declive de las orillas hácia el medio del álveo.

Si este se compone, de un borde al otro, de materias que resistan desigualmente, se profundizará mas donde la materia resista ménos, y se elevará por el que presente mayor tenacidad. Y repitiéndose estos incidentes en el largo curso del rio, pueden ocasionar muchas variaciones en su direccion.

Así como todo cuerpo, en virtud de su gravedad, propende á acercarse lo posible al centro de la tierra, el agua procura siempre buscar salida por los puntos mas bajos que se le presentan; de donde resulta que la velocidad de un rio puede aumentarse por esta causa, así como por la de estrecharse su álveo.

Si el agua choca impetuosamente contra un obstáculo que no puede vencer, perderá una parte de su velocidad, y se elevará á una cierta altura, de la que volviendo á caer, se dirigirá á la orilla opuesta. De esto pueden resultar gorgas, remolinos y sinuosidades ó revueltas de toda especie á lo largo del curso de un rio; por lo que observando con atencion las causas del reflejo del agua, es como se pueden hallar en todo caso los medios de impedir los malos efectos, y de contener el rio en un álveo fijo y determinado.

A las variaciones que el curso del agua puede recibir por parte de la calidad particular del álveo, se reunen las que resultan de las materias estrañas arrastradas por los torrentes.

Nuestro Autor discute con estension los principales accidentes que provienen de todas estas causas. Las reglas que da, están aplicadas con especialidad á los rios de Italia que tenía á la vista, y no pueden aplicarse sinó con algunas modificaciones á los rios del Norte en razon de la diversidad de las materias que forman sus álveos; mas como los rios de España tienen mucha analogía con los de Italia, casi todas las observaciones de *Guglielmini* convienen á nuestro pais, y esta es una de las razones que tambien nos han impulsado á estractar su obra con alguna mayor estension que las demas.

En el capítulo 7.° *Guglielmini* examina los movimientos de las

aguas que se observan en los rios, en diversas circunstancias. Sigue paso á paso, digámoslo así, el movimiento del agua, desde el nacimiento del rio hasta su desembocadero en el mar.

En el capítulo 8.° trata particularmente de la desembocadura de un rio en otro ó en el mar.

Si se supone un rio entre dos orillas bastante elevadas para impedir las inundaciones en las campiñas vecinas, que va á entrar en un gran depósito, cuyas aguas no bajen ni suban, á lo ménos sensiblemente, conservará tambien la misma posicion en su desembocadura, si vierte la misma cantidad de agua que le entra; se elevará sinó vierte tanta como recibe; y en fin bajará si en la desembocadura hay una caida ó catarata. Este último caso no puede tener lugar en los rios cuyos álveos son susceptibles de corrosion.

El Autor examina, por menor, segun estos principios simples, todos los casos que pueden acontecer cuando un rio entra en otro perpendicular ú oblicuamente, y cuando desemboca en un mar sujeto ó no al flujo y reflujo.

En el capítulo 9.° considera la union de muchos rios, y los efectos que de ella resultan. Observa que si dos rios semejantes en todo, desembocan separadamente en el mar, la suma de sus anchos será mayor que la que tendrían si corrieran juntos por una misma madre; que si dos rios de esta clase llegan á unirse, es mas profundo el álveo comun que los álveos separados; que el declive de un rio compuesto es menor que cada uno de los declives de los rios simples; que si un gran rio, que tiene poco declive, y que ha dejado de arrastrar arena gruesa, llega á unirse á otro rio que la lleva, será preciso que el primero mude su curso, ó levante su álveo en las partes superiores. Estas proposiciones y muchas consecuencias que el Autor saca de ellas, forman el fondo de la doctrina que establece sobre este punto.

El objeto del capítulo 10 es el crecimiento y bajada de los rios, y la proporcion en que las aguas se aumentan. No hay rio natural que no esté sujeto á crecer ó menguar en los tiempos de lluvia ó de sequía, y por la variacion de dimensiones del álveo, que ensanchándose ó estrechándose, disminuye ó aumenta su profundidad. Las crecientes del agua que pueden sobrevenir por la superabundancia del manantial ó de las partes superiores del rio, se anuncian ordinariamente por grados. No sucede así con las que provienen de las lluvias, ó de las nieves derretidas; pues por lo comun crece el rio de golpe por dichas causas. Los rios pequeños están mas su-

jetos que los grandes á variaciones en la altura de las aguas. Los primeros salen de madre con mas frecuencia y mas en proporcion que los otros; pero en recompensa la duracion de las avenidas dura mas en los últimos. En general, hay en cada rio, tiempos determinados para sus grandes avenidas; pero muchas circunstancias pueden variar esta combinacion, y hacer que se aumente ó disminuya la creciente. El arte de contener un rio en su álveo exige que se estudie con atencion el curso del agua y la naturaleza del terreno en que se halla, que se examinen las crecientes de agua á que está espuesto, los torrentes que puede recibir, la cantidad de materias que aquellos pueden arrastrar tras sí, &c., &c.

El capítulo 11 contiene advertencias sobre las inundaciones de los campos y sobre las reglas que siguen.

Ademas de los grandes rios, hay tambien en la superficie de la tierra una infinidad de arroyos que no tienen régimen cierto y arreglado, que provienen de las lluvias, y que por consiguiente están sujetos á secarse. Estos arroyos siguen la direccion que el terreno les permite. El agua siempre busca su camino por los lugares mas bajos, y cuando no se cuida de prepararles salidas, ó cuando el terreno se opone á ello, el agua se acumula en lagos, ó forma pantanos que infestan algunas veces el aire. Las corrientes bien dirigidas y distribuidas, pueden servir para fertilizar las tierras y sobre todo los prados. Luego convendrá conocer los declives del terreno, para poder dirigir las aguas del modo mas ventajoso.

En el capítulo 12 se trata de los canales regulares y de las principales circunstancias que son necesarias para sacarlos de los rios ó depósitos; y se reduce á considerar los canales como rios de menor consideracion, y aplicar á ellos, con algunas modificaciones, los principios que ha establecido sobre el curso de los rios en general.

El capítulo 13 trata de los medios de bonificar un terreno al que las aguas privan de su fertilidad, por permanecer en él contínuamente, ó por lo ménos una gran parte del año. Este efecto se consigue, ó con el desagüe del terreno, ó algunas veces con la afluencia de una corriente de agua que se introduce por cierto espacio de tiempo en la balsa, la que llevando tras sí las aguas dañosas, deja un depósito de materias que pueden formar excelentes abonos.

En fin, en el capítulo 14, *Guglielmini* presenta muchas advertencias sobre las precauciones necesarias cuando se quiere mudar la madre de un rio, cuya operacion solo debe efectuarse, despues de un perfecto conocimiento del terreno en que se quiere que el rio tenga

su nuevo curso: hallando aquí aplicacion los principios sentados por el Autor sobre el modo con que los rios forman sus álveos.

16 En el *tratado geométrico del movimiento de las aguas, por el P. Guido Grandi*, se halla el método siguiente para medir la velocidad del agua en diferentes profundidades; que no es muy conocido. Tómese una caja de hoja de lata ú otra matéria cualquiera, de figura paralelepípeda, cerrada herméticamente por todos sus lados, y teniendo en lo alto de una de las superficies verticales un pequeño agujero, que se cierra exactamente con una chapa sostenida por un resorte que se puede mover como se quiere. Hecho esto, se hunde la caja en el rio, de modo que el agujero llegue á la profundidad en que se quiere conocer la velocidad; entónces se levanta la chapa y se deja entrar el agua en la caja por un espacio de tiempo que se cuenta exactamente; se cierra el agujero, se saca la caja y se mide la cantidad de agua que contiene, ó mas sencillamente la altura del agua sobre el fondo. Se hace igual operacion para otra profundidad; y la relacion que guardan entre sí las dos cantidades de agua que resultan en la caja ó de las dos alturas, es la de las velocidades del agua en dichas profundidades.

Este método pareció muy sencillo y cómodo; mas para la exactitud de los resultados es preciso que, en uno y otro caso, el agujero se coloque muy directamente, ó al ménos de un mismo modo al curso del agua; lo que es difícil conseguir en la práctica.

17 *Memoria de Emerico Bolognini, Gobernador de mar y tierra, sobre el estado antiguo y presente de las lagunas Pontinas, y sobre los medios de secarlas.*

Las lagunas Pontinas están situadas en la campiña de Roma cerca del mar, y ocupan una estension de casi ocho leguas de largo y dos de ancho. En otros tiempos, este pais estaba cubierto de ciudades florecientes, pero como el fondo es un poco bajo y entran en él por todas partes las aguas y arenas de las montañas, ha llegado el caso de que, por la sucesion del tiempo y descuido de los hombres, han perdido las aguas sensiblemente el declive necesario para correr, y forman pantanos, cuyas exhalaciones son tan fuertes que se miran como una de las causas principales del aire mal sano que se respira en Roma en los calores del estío, aunque aquella ciudad dista cerca de catorce leguas de las lagunas Pontinas; opinion que reinaba en tiempo de Plinio. *Clodio Appio* hizo construir un camino al través de dichas lagunas, y muchos canales para procurar la corriente de las aguas, 310 años ántes de la Era Cristiana. Estos tra-

bajos tuvieron un resultado mediano y pasagero. Julio Cesar formó proyectos mas vastos para desecarlas del todo; Augusto principió á ponerlos en ejecucion; Trajano hizo empedrar la via Apia, y construir muchos puentes. Si este proyecto se hubiera continuado con mas actividad, se hubiera conseguido destruir ó á lo ménos disminuir considerablemente el mal, que se aumentó durante la decadencia del Imperio Romano: posteriormente los Papas lo han intentado varias veces y en estos últimos tiempos Mr. *Prony* se ocupó tambien de este proyecto.

El Autor de esta Memoria no solo propone los medios para desecar las lagunas Pontinas, sinó tambien el modo de proporcionar los caudales necesarios para la ejecucion de un proyecto tan costoso.

18 *Observaciones de Eustaquio Manfredi sobre la elevacion contínua del fondo del mar.*

Se sospechaba hace mucho tiempo que el fondo del mar Adriático se levantaba contínuamente. *Eustaquio Manfredi* es el primero que ha fundado esta opinion de una manera incontrastable, con las observaciones y nivelaciónes que hizo en 1735 sobre muchos antiguos edificios de la ciudad de Ravena, de que hace mérito en esta Memoria.

19 Concluida esta especie de digresion, debemos ahora manifestar que la España fué acaso la primera que se ocupó de obras en grande relativas á la Hidráulica, tanto dentro de su territorio, como fuera, segun se acredita por las operaciones de *Antonelli* en la Península y por el canal de Ambéres en los Paises Bajos; pero en consecuencia de las contínuas guerras en que se ha visto empeñada, no ha tenido el debido reposo para ulteriores investigaciones.

20 La Francia á principio del siglo XVII, no contaba aun ninguna obra señalada sobre la Hidráulica; pero con motivo de la ejecucion del canal de Briare principió á ocuparse de sus aplicaciones; y el mismo año de 1642 en que todos los que se interesaban en los progresos científicos del género humano, tuvieron que llorar la pérdida de *Galiléo*, fué cuando el comercio principió á gozar del beneficio de dicho canal. A este siguió el de Languedoc y el de Orleans; y al fin del siglo XVII no habia Nacion que poseyese monumentos de esta especie comparables con los de la Francia.

21 En Inglaterra principiaron estas aplicaciones mas tarde; pero en poco tiempo se han multiplicado de tal manera, que cruzada en todos sentidos por canales navegables, todos adecuados al objeto que se proponen conseguir, pues unos son de dimensiones pequeñas y otros de las mas estraordinarias que los hacen navegables hasta para grandes fragatas, todas las provincias de este pais parecen gozar de un

suelo igualmente fértil y abundante, y de una industria igualmente perfeccionada.

22 Volviendo á tomar el hilo de los adelantamientos en la ciencia del equilibrio y movimiento de los fluidos, debemos manifestar que *Pascal* dejó entre sus papeles, al morir en 1662, dos trataditos, el uno sobre el equilibrio de los fluidos en general, y el otro sobre el peso de la masa del aire, que se imprimieron al año siguiente. Estas dos obras, aunque muy cortas, son completas en su género, y llevan el carácter del sobresaliente genio del Autor; pero nada dejó escrito sobre el movimiento de los fluidos.

23 Entre los que han tratado este último asunto, y que han puesto el teorema de Torricelli en uso, *Mariotte* merece ser nombrado con distincion. Nacido con un talento estraordinario para discurrir y ejecutar esperimentos, y habiendo tenido ocasion de hacer un gran número de ellos sobre el movimiento de las aguas en Versailles, en Chantilli, y en otros muchos parages, compuso sobre esta materia un tratado que no se imprimió hasta despues de su muerte acaecida en 1686. Se ha equivocado en algunas cosas, pero á pesar de estas imperfecciones, su obra ha sido muy útil, y ha contribuido mucho á los progresos de la Hidráulica práctica.

24 En 1687 publicó *Neuton* por la primera vez sus *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, donde trató las mas importantes cuestiones de la Mecánica de los cuerpos terrestres y celestes. No olvidó el problema del movimiento de un fluido á la salida de un vaso, sin atenerse á la hipótesis limitada de que el orificio sea muy pequeño. Y comparando su ingeniosa teoría con la cantidad de agua que debia salir durante un cierto tiempo, *Neuton* se apresuró á concluir que *la velocidad en el orificio, no era debida sinó á la mitad de la altura total del agua superior*; pero reconoció despues que esta determinacion no se podía conciliar con las alturas á que los surtidores se elevan naturalmente. No habia notado al principio el efecto de la contraccion de la vena fluida; pero en la segunda edicion publicada en 1714, tuvo ya en consideracion este elemento; y conservando el fondo de su teoría, sustituyó únicamente en la medida de la velocidad, en vez de la superficie efectiva del orificio, la seccion de la vena contraída. Con esta correccion, la velocidad calculada se halló mas conforme con la velocidad efectiva: pero la teoría de *Neuton*, no por esto quedó ménos hipotética, precaria y aun inexacta en sus principios; y en efecto Juan Bernoulli manifestó que no iba del todo conforme con la esperiencia.

25 *Varignon* tambien se ocupó de esta materia; pero de un modo bastante imperfecto; así como otros muchos escritores cuyos nombres omitimos, porque casi no han hecho mas que copiar á sus predecesores.

TERCERA ÉPOCA.

Comprende desde Daniel Bernoulli hasta el dia.

26 Tal era sobre poco mas ó ménos el estado de la Hidrodinámica cuando el célebre *Daniel Bernoulli*, despues de haber ya dado algunos ensayos sobre este asunto, en las Memorias de la Academia de Petersburgo, publicó en 1738 su *Hidrodinámica*, donde trata esta materia con su debida estension: en ella deduce fórmulas generales en virtud de observaciones juiciosas, que confirmó con la esperiencia; y combinando la parte mas sublime de la Analísis con la Física mas segura, trató con estraordinaria sagacidad muchas cuestiones importantes, empleando el cálculo cuando era indispensable y jamas por pompa ú ostentacion. Cualesquiera que sean los progresos que la Hidrodinámica haya hecho, despues de la publicacion de la obra de *Daniel Bernoulli*, la posteridad agradecida deberá siempre contarla entre las mas sabias producciones del genio matemático.

27 *Juan Bernoulli*, padre de *Daniel*, y *Maclaurin* se ocuparon tambien de la resolucion de algunos problemas relativos á la Hidráulica, siguiendo diferente rumbo que Daniel; sus resultados se hallaron conformes con los de este; pero algunos tacharon de oscuros y precarios los métodos de *Juan Bernoulli* y de *Maclaurin*.

28 Estaba reservado á *D'Alembert* resolver el problema del movimiento de los fluidos por un método directo y luminoso, y al que nada se puede objetar. Haciendo uso de un principio que habia establecido el profundo Geómetra *Jacobo Bernoulli* en 1703, para un número inmenso de aplicaciones, *D'Alembert* llegó á resolver de una manera muy simple, no solamente los problemas de los Autores que le habian precedido, sinó que añadió aun otros muchos enteramente nuevos y de la mayor dificultad. Su tratado de los fluidos apareció por la primera vez en 1744.

Desde esta época *D'Alembert* no ha cesado hasta su muerte, de perfeccionar y enriquecer la Hidráulica. Asi es, que publicó otros adelantamientos en su *Ensayo sobre la resistencia de los fluidos*, y despues en varios parages de sus *Opúsculos matemáticos*.

29 Nuestro inmortal *don Jorge Juan* en su sapientísima obra intitulada *Exámen Marítimo teórico-práctico*, se ocupó con singular maestría de aquella parte de la teoría de los fluidos que era mas indispensable para su objeto.

30 *Euler*, á quien la naturaleza parece había destinado para estender los límites de todos los conocimientos matemáticos, dió una nueva teoría general y completa del movimiento y del equilibrio de los fluidos, en cuatro Memorias impresas entre las de la Academia de Petersburgo (Años de 1768, 1769, 1770 y 1771); teoría uniforme en los principios, fundada en las primeras leyes de la Hidrostática, y desenvuelta con aquella superioridad de ciencia analítica que caracteriza al Autor; reduciendo toda la teoría del movimiento de los fluidos á dos ecuaciones diferenciales de segundo órden.

31 Posteriormente el célebre *Lagrange* ha dado las ecuaciones fundamentales del movimiento de los fluidos, en las Memorias de la Academia de Berlin año de 1781, por los métodos sabios y nuevos que él habia puesto ya en uso, para la solucion de los problemas de Dinámica (Academia de Turin 1762). Y con los trabajos posteriores de otros Sabios, entre los que no podemos ménos de nombrar á *Mr. Navier*, á *Mr. Poisson* y á *Mr. Cauchy*, se puede asegurar que *la teoría matemática del movimiento de los fluidos es completa*; pues se tienen las ecuaciones generales para su movimiento, que son las que yo pongo al fin de la Hidrodinámica en el tomo 3.º, parte 1.ª de mi *Tratado elemental de Matemáticas*. Mas para integrar dichas ecuaciones, era preciso que la Física descubriese alguna propiedad en la composicion íntima de los fluidos, que, sometida al cálculo, simplificase dichas ecuaciones diferenciales para poderse integrar. De otro modo, si por hipótesis arbitrarias se restringiese su significado para poder efectuar la integracion, entónces perderían la ventaja de presentar los fenómenos de la naturaleza con la suficiente exactitud. Mas como la indispensable precision que hay contínuamente de aplicar el movimiento de los fluidos á las necesidades de la vida civil es tan urgente, no se puede prescindir á cada paso de tener que ocuparse de la determinacion de la cantidad del líquido que sale por una abertura propuesta, de la investigacion del movimiento de las aguas en los canales abiertos, ya por el arte, ya por la naturaleza, de la medida de las fuerzas que los fluidos ejercen por su peso ó por su choque, &c.; pues es necesario aplicarlas sin cesar á la pública utilidad. Y como los matemáticos son infatigables, siempre que se trata de alguna cuestion ventajosa al género

humano, despues de agotar todos los recursos de la Analísis, y de la mas sublime Geometría para determinar las leyes del movimiento de los fluidos, matemáticamente considerados, y en el ínterin que la Física descubre la indicada ley en los fluidos que presenta la naturaleza, por la cual se pueda conseguir *à priori* el tránsito de las leyes de los fluidos perfectos, como los consideran los Geómetras, á los fluidos que real y verdaderamente existen, han seguido otro rumbo para conseguir este objeto *à posteriori* por la via de la esperiencia.

32 La ejecucion de esta idéa tambien presenta grandes dificultades; mas por otra parte reune ventajas que han estimulado á intentarlas; pues que los hechos multiplicados, analizados con atencion, examinados con madurez, y referidos, en cuanto es posible, á leyes generales, pueden rectificar los resultados de la teoría; y este método, aunque carece á la verdad del rigor geométrico, puede hacerse simple, fácil y susceptible de adaptarse á las necesidades mas frecuentes de la práctica.

33 Bajo este punto de vista, *Mr. Bossut* principió á hacer estas reflexiones poco tiempo despues de su instalacion de Profesor de Matemáticas en la Escuela de Ingenieros de *Mezières*. Este destino le imponía la obligacion de enseñar á sus discípulos la Mecánica de los fluidos, que les era necesaria. En la escasez que entónces se tenía de buenos libros elementales sobre esta materia, dictaba á sus discípulos algunos puntos de los mas interesantes; y habiendo agradado sus idéas sobre este particular á los hombres ilustrados y celosos por el bien, que dirigían aquella Escuela de Ingenieros, el Duque de Choiseul, entónces Ministro en el departamento de la guerra, señaló fondos para hacer esperimentos; los que habiéndose ejecutado, produjeron la apreciabilísima obra que publicó *Mr. Bossut* por primera vez en 1771, bajo el título de *Tratado teórico y esperimental de Hidrodinámica*. En esta obra manifiesta el Autor, que la teoría y la esperiencia son sus dos guias; que se prestan un mútuo auxilio; que cuando la teoría sola basta para resolver una cuestion, no mezcla en ella los esperimentos, para evitar superfluidades; pero en el caso contrario, se apoya en la observacion para modificar los resultados de la teoría ó para reemplazarla.

34 Divide su obra en tres partes distintas; en una trata de la *Hidrostática*, en otra de la *Hidráulica teórica*, y en la otra de la *Hidráulica esperimental*.

Como las leyes de la *Hidrostática* son muy simples, y estaban suficientemente confirmadas por la esperiencia mucho tiempo ha, su

trabajo en esta parte se ha reducido á coordinarlas y á demostrarlas con un órden claro, fácil y metódico.

35 Y como el principal objeto de su trabajo era la investigacion del movimiento de los fluidos, procuró desempeñar este objeto con todo el esmero que permitían sus facultades. Trató al principio de la *Hidrodinámica*, á que él llamaba *Hidráulica*, á fin de conocer los auxilios que puede prestar á la *Hidráulica* práctica, y de arreglar en su vista la eleccion de los esperimentos que debian completar su obra. Y despúes de considerar la salida de los fluidos por orificios, tanto pequeños como grandes, hechos lateralmente, ó en el fondo de los depósitos ó vasos, manifiesta la necesidad de introducir un nuevo elemento, que le indicó la esperiencia, cual era, el que *se debia tener en consideracion la resistencia del rozamiento contra las orillas del orificio, ó contra las paredes de un largo tubo de conduccion ó cañería*; lo que ocasiona una pérdida mas ó ménos considerable en el producto. Esta teoría, cuyos principios ha dado á conocer este Sabio, es de la mayor importancia y trascendencia.

En seguida, manifiesta que hay tres maneras de hacer servir la accion del agua para el movimiento de las ruedas Hidráulicas; á saber, *el choque*, *el peso*, *y la reaccion del fluido*; y discute estos tres medios averiguando, en cada uno de ellos, cuando se verifica el *máximo* efecto. Despues de la Hidráulica teórica pasa á la *Hidráulica esperimental*: en la cual se ocupa ante todas cosas de manifestar las circunstancias con que se deben ejecutar los esperimentos para que conduzcan al fin que el Geómetra se propone.

36 Principia, así como lo hace en la teórica, por la salida de los fluidos por pequeños orificios; y de sus observaciones resulta que *la vena fluida, al salir por el orificio, se adelgaza y viene á formar un conoide truncado, cuya base mayor es el orificio, la menor una seccion perpendicular á la vena fluida, á una cierta distancia del orificio que se puede reputar ser su radio, y que sus dos bases guardarán aproximadamente la relacion de 3 á 2.*

37 Estas determinaciones no llenaron la esperanza que había concebido, por la opinion de algunos Autores, de poder concluir de ellas con una exactitud suficiente la cantidad del gasto de fluido que salía de un depósito ó vaso por un orificio; pues la esperiencia le confirmó lo contrario. En efecto, la medida de las dimensiones del conoide está sujeta á errores que deben tener una influencia mas ó ménos señalada en los gastos; porque, ademas de que nunca se puede responder de que se haya tomado bien justo el diámetro de la

vena, tampoco puede haber seguridad de que se le ha medido precisamente en el parage en que la vena deja de estrecharse para venir á ser cilíndrica. Tampoco se sabe si dicho parage es siempre fijo para toda clase de alturas de depósito y de tamaños de orificio; ni si el diámetro de la vena varía en virtud de estas dos causas. Por otra parte, el rozamiento, que es mas sensible hácia el centro, podrá suceder que coopere á hacer hinchar la vena, y por consiguiente á desnaturalizar su diámetro. Todas estas consideraciones originan incertidumbres, que no permiten emplear directamente el conoide fluido como uno de los elementos de las aguas que han salido.

38 Segun la teoría, *el gasto de un depósito que permanece constantemente lleno, es como el producto de la superficie del orificio, por el tiempo y la raiz cuadrada de la altura del depósito, suponiéndose el orificio pequeño en comparacion de la amplitud del depósito.* La esperiencia le hizo ver que esta ley es sensiblemente verdadera, y que se puede emplear en la práctica ordinaria: así como el que *cuando la salida se verifica por un orificio hecho en una pared delgada, la contraccion de la vena fluida disminuye el gasto teórico sobre poco mas ó ménos en la relacion de 16 á 10, ó de 8 á 5*; y cuando el fluido sale por un tubo adicional de 2 á 3 pulgadas de largo, y sigue las paredes de este tubo, *el gasto teórico es disminuido solamente en la relacion de 16 á 13.*

Mas allá de esta seccion, la columna fluida conservaría la forma cilíndrica si su pesantez propia y la resistencia del aire no cooperasen á desnaturalizarla.

De la analísis que hace de los efectos del rozamiento y de la contraccion, deduce: *que á causa del rozamiento, los pequeños orificios dan ménos agua á proporcion que los grandes; y que aumentando la altura del depósito, aumenta la contraccion, lo cual hace disminuir el gasto.*

39 De aquí pasa á las aguas que salen por surtidores ó saltadores, estableciendo la mejor figura de los tubos aditicios ó adicionales; y acerca de la mejor proporcion entre el diámetro del tubo aditicio, por donde sale el agua del surtidor y el de la cañería ó tubo que debe suministrar el líquido para su gasto, manifiesta que *los cuadrados de los diámetros de los tubos de conduccion ó de las cañerías, deben estar entre sí en razon compuesta de los cuadrados de los diámetros de los tubos aditicios, y de las raices cuadradas de las alturas de los depósitos.*

Hace ver que sucede frecuentemente el tener necesidad de con-

ducir el agua desde un punto á otro que está remoto, y muchas veces separado por montañas ó valles. Y que entónces se cometerían errores frecuentemente enormes, si despues de haberse asegurado, por la nivelacion, de que el punto de partida está mas elevado que el de llegada, se fijase el diámetro del encañado, por los principios que sirven para determinar la salida de un fluido que está en un vaso ó depósito por una abertura ordinaria, despreciando la resistencia del rozamiento; pues influyendo esta en un largo espacio, retarda considerablemente la velocidad del agua. La pérdida, que esto ocasiona, puede llegar á ser mas de 20 ó 30 veces el gasto efectivo, cuando es grande la longitud del conducto, y tiene muchas sinuosidades. Los esperimentos que sobre esto ha hecho, manifiestan que, *á igualdad de circunstancias, miéntras mayor es la altura del depósito, ménos sensible es la pérdida ocasionada en el gasto de una cañería ó de un largo conducto.*

40 Despues considera el movimiento de las aguas en los canales, y luego en los rios: donde observa que las irregularidades de los lechos, madres, ó álveos de los rios hacen de tal modo variar la velocidad de un parage á otro, que en vano se pretendería someter todos estos efectos á un cálculo preciso y rigoroso. Acerca de esta materia dice ser indispensable que la Física venga necesariamente al auxilio de la Geometría; y que solo al resplandor de estas dos antorchas, entra en varios detalles sobre el movimiento del agua de los rios: terminando con la resolucion de dos útiles é importantes problemas, que tienen cierta dependencia necesaria. El primero consiste en *determinar la mudanza que sobreviene á la profundidad de un rio, cuando se hace alguna variacion en el ancho de su madre ó álveo, como por ejemplo, cuando se construye en él un puente;* y el segundo en *hallar la cantidad de que se hará bajar el nivel de un rio, ó en qué relacion estarán las profundidades, cuando se separe una parte del agua para el servicio de alguna máquina hidráulica.*

41 Tambien hizo esperimentos sobre la percusion ó resistencia de los fluidos. Se sabía en general, segun los asertos de los bateleros holandeses, la dificultad que habia de navegar en sus canales en tiempo de las bajas aguas; y segun algunos esperimentos de *Franklin*, que, estrechándose un canal, aumenta la resistencia; pero todo esto se reducía solo á meras indicaciones, y no se podía sacar de ellas ninguna ley, ni resultado susceptible de cálculo, y aplicable á las varias circunstancias del problema. Por otra parte, *Franklin* se ha-



bia equivocado, estimando la resistencia por la simple razon inversa de los tiempos, en lugar de emplear la razon inversa de sus cuadrados.

42 La obra de *Mr. Bossut* fué recibida por el público ilustrado con mucho entusiasmo, segun requería su importancia; pero como el motivo principal de haberse formado, fué el de que sirviese para uso de los Ingenieros, de aquí provino, el que circuló inmediatamente de un modo estraordinario entre los oficiales de este cuerpo. Y aunque dicha obra no era aun suficiente para resolver todas las cuestiones de la Hidráulica, que son indispensables para satisfacer las necesidades del género humano, sin embargo siempre deberá ser consultada por los que se dediquen á este importante ramo: y no podrá ménos de resultar á *Mr. Bossut* la gloria de haber abierto esta carrera de un modo tan nuevo, juicioso y trascendental. Por lo que, en cierto modo, no se le puede ni debe defraudar del mérito de gran parte de los esfuerzos que han sucedido á los suyos, á pesar de que repetimos, no eran suficientes para atender á las necesidades de los hombres.

43 En efecto, se dirigen fácilmente las aguas reducidas á pequeño volúmen, contenidas en vasos, depósitos ó en tubos regulares, con circunstancias en que los datos son determinados ó cuyas mudanzas observan una marcha regular; pero no se verifica lo mismo con la gran masa de aguas que corren por los rios caudalosos, en lechos, madres, ó álveos, desiguales en ancho, profundidad y declive; de las cuales unas corren por el fango, y otras en medio de las rocas, á diversas profundidades; las hay que arrastran arenas, cascajo, ó guijo en abundancia, que están sujetas á mudar frecuentemente de álveo, y que forman islas en ciertos parages, miéntras que en otros las destruyen; corren tambien otras que vienen á ser en ciertas circunstancias, torrentes rápidos y peligrosos, para dejar despues su madre casi en seco y cubierta de despojos; y por último existen algunas que parecen correr una parte del año con un curso bastante reglado, y que, elevándose despues rápidamente, salen de su madre ordinaria, rompen los diques que se les oponen, cubren los llanos cultivados, y llevan la desolacion á las campiñas.

44 Bien fácil es concebir la dificultad que debe presentar el tratar de someter al cálculo estos diversos fenómenos. Las primeras determinaciones dignas de atencion que se hicieron sobre el movimiento del agua en los canales, teniendo en consideracion las resistencias físicas, son las del difunto *Mr. Chezy*, antecesor de *Mr. Prony* en la direccion de la Escuela de puentes y calzadas, uno de los mas hábiles ingenieros de Francia, y que se puede colocar entre el

pequeño número de hombres que son superiores á su reputacion. El citado *Mr. Chezy*, trabajaba en union con *Mr. Perronet* por el año de 1775, en el proyecto del canal de l' Ivette, y quiso espresar por la observacion y el cálculo, las relaciones que existen entre la inclinacion y la longitud de un canal, la magnitud y la figura de su seccion perpendicular á la corriente, y la velocidad del agua; y obtuvo una fórmula muy simple que comprendía estas diversas variables; la cual con el auxilio de un solo esperimento, podía ser aplicable á todas las corrientes.

Como los principios establecidos en la Hidrodinámica del Abate *Bossut*, no eran suficientes en manera alguna para determinar el curso de las aguas en todas las circunstancias que presentan los rios, canales, encañados, &c., *Mr. Dubuat*, oficial de Ingenieros, despues de haber *devorado*, como él dice, la parte de dicha obra que trata del movimiento de las aguas, al instante que se publicó, trató de buscar la solucion del problema que le parecía deber ser la clave de la Hidráulica; es decir, *determinar cual es la velocidad de una corriente cuya inclinacion y álveo son conocidos.* Pero no habiéndose hecho los esperimentos, ni bastante decisivos, ni suficientemente variados y numerosos, para poder obtener su resolucion, se propuso hacer nuevos esperimentos. Y habiéndole concedido el Gobierno fondos para ello, *Mr. Dubuat* auxiliado de *Mr. Dovenhein* y de *Mr. Benezech de Saint Honoré*, tambien oficiales de Ingenieros, trabajó con mucha asiduidad sobre esta materia, haciendo gran número de importantes esperimentos en los años de 1780, 1781, 1782, y 1783: los cuales, así como una inmensidad de oportunas reflexiones y las correspondientes fórmulas en que se cifraban las leyes de los fenómenos observados, formaron el objeto de su importante obra intitulada *Principios de Hidráulica y de Pirodinámica en tres volúmenes.*

45 Como á proporcion de la importancia de un asunto, suele ser en general la diversidad de pareceres sobre el modo de dirigirle y arreglarle; y de todos los ramos de las Matemáticas Mistas no hay ninguno que presente simultáneamente mas dificultades é interés, que el movimiento de los fluidos, porque hasta ahora, ni la Física, ni la Química han dado á conocer su naturaleza de un modo suficiente para poder someter al cálculo sus propiedades, ha resultado, que aunque la obra de *Mr. Dubuat* es y será siempre sumamente apreciada, particularmente por sus numerosos y útiles esperimentos, contiene hipótesis aventuradas; y á pesar de que toma en considera-

cion las fuerzas retardatrices que oponen el rozamiento, la viscosidad, la contraccion de la vena fluida, &c., &c., con mas conato que sus predecesores, deja todavía mucho que desear.

46 *Mr. Lecreulx*, Autor de una obra muy apreciable *sobre los torrentes y los rios*, que él mismo confiesa ser una especie de continuacion de la de *Mr. Fabre* sobre la misma materia, publicó en 1809 una obra intitulada *Exámen crítico de la obra de Mr. Dubuat*, en la cual manifiesta que varias hipótesis, hechas por este Autor y que sirven de base á su teoría y á sus fórmulas, no concuerdan con los efectos naturales que resultan del curso de los rios, que él mismo había observado; y aunque en muchos puntos estoy yo de acuerdo con *Mr. Lecreulx*, y por otra parte manifestaré los descuidos é inexactitudes de *Mr. Dubuat*, sobre que ni *Mr. Lecreulx* ni ningun otro ha fijado hasta ahora la consideracion, no obstante, repito, que la obra de *Mr. Dubuat* es sumamente apreciable, y que sus esperimentos deberán ser consultados por todos los que se dediquen á la Hidrodinámica, ó tengan por objeto profundizar alguna de sus muchas é importantes aplicaciones.

47 Sin embargo, las reglas de cálculo de *Dubuat* no tenían aun toda la sencillez que convenía, y de que eran susceptibles; y somos deudores á *Coulomb*, del principio esperimental por el que se obtiene este *máximo* de simplicidad; pues en una Memoria que leyó al Instituto por el año de 1800 sobre *esperimentos destinados á determinar la cohesion de los fluidos y las leyes de sus resistencias en los movimientos muy lentos, y que se halla impresa en el tercer volúmen* de los de la clase de ciencias Física y Matemáticas del Instituto, manifiesta por el raciocinio y la esperiencia, que *cuando el movimiento de una corriente* de agua ha llegado á la uniformidad, la fórmula que da la relacion entre la velocidad constante y las diversas cantidades relativas á la inclinacion, á la forma y á las dimensiones del canal ó del tubo, solo contiene la primera y segunda potencia de esta velocidad, lo cual suministra un medio de satisfacer á un número cualquiera de buenos esperimentos, con fórmulas de un cálculo elemental y cómodo. *Mr. Girard*, Ingeniero en gefe de puentes y calzadas, Miembro de la Real Academia de las Ciencias de París (y en la actualidad su Presidente), es el primero que ha tenido el feliz pensamiento de poner en práctica la ley de *Coulomb* y de haber publicado aplicaciones en grande de su principio.

48 *Mr. Prony*, cuyo nombre debe ser muy respetado en todo lo relativo á Hidráulica, tanto racional como esperimental, es uno

de los Sábios que mas han contribuido en todos sentidos para perfeccionar esta clase de conocimientos.

49 En efecto, *Mr. Prony*, desde su entrada en la carrera de Ingeniero de puentes y calzadas de Francia, se grangeó la amistad del célebre *Perronet*; el cual adivinando los grandes talentos de que su discípulo debía dar despues tantas pruebas, le dijo en 1779: "dedicaos á profundizar los principios de vuestra profesion, porque estais destinado á llegar á ser un dia el Gefe de la Escuela de puentes y calzadas." Despues de haber ejercido sus funciones de Ingeniero en muchos puntos, *Mr. Prony* fué llamado á París por el Ministerio, á fin de ayudar á *MMrs. Perronet* y *Chezy*, demasiado avanzados en edad para poder atender á sus numerosos y difíciles trabajos. *Mr. Prony* desempeñó este encargo con tanto celo como talento desde 1783 hasta 1791. Y el haber estado todo este tiempo al lado de unos hombres tan eminentes, el haber desempeñado una inmensidad de comisiones importantes relativas á las aplicaciones de la Hidráulica en diferentes parages de la Francia é Italia, y en los confines septentrionales de la España; y por otra parte su destino de Inspector general de puentes y calzadas y de Director de la Escuela de estos ramos establecida en París, le proporcionaron la ventaja de poder reunir un conjunto de noticias y materiales importantes para la formacion de las muchas é interesantes obras y memorias que tiene publicadas. Entre ellas merecen principalmente nuestra consideracion su *Nueva Arquitectura hidráulica*, su *Mecánica filosófica* y sus *Investigaciones Físico-Matemáticas sobre la teoría de las aguas corrientes*, que *imprimió en París año de* 1804.

50 Con la publicacion de esta obra, que es la que tiene mas inmediata relacion con nuestro actual objeto, el Autor ha hecho un verdadero y muy estraordinario servicio al género humano.

51 Efectivamente, aunque la Mecánica racional, ó ciencia que somete al cálculo analítico los fenómenos del equilibrio y movimiento de los cuerpos, se hubiese adelantado mucho, sin embargo, aun no se podía sacar de sus reglas una utilidad práctica proporcionada á la escelencia de las teorías de donde dimanan; los obstáculos que á esto se oponían, eran originados por una parte de la Análisis matemática, y por otra del estado de la Física. De la Análisis, por cuanto no tiene siempre métodos ó procedimientos para la integracion de las ecuaciones que le presenta la Mecánica; y de la Física, porque hay circunstancias en que solo los Físicos, ilustrados con la antorcha de la esperiencia son los que pueden dar al Mecánico nociones ciertas

sobre la naturaleza y modo de obrar de las fuerzas, cuyos efectos se deben medir y comparar, y la investigacion de estas bases de razonamiento y de cálculo presenta frecuentemente grandísimas dificultades.

52 Así es, que la Hidrodinámica en el dia se debe mirar como una ciencia en que casi nada falta que hacer, considerada en sí misma y de un modo abstracto; pero enlazada bajo el aspecto de las ventajas que la sociedad espera de ella con otras dos ciencias que dejan, y dejarán aun largo tiempo un vasto campo al estudio y á los descubrimientos. Por lo que, sería de la mayor importancia el obtener una teoría *físico-matemática de los fluidos*, fundada en los principios rigorosos de la Mecánica, enriquecida y verificada por la esperiencia, y cuya aplicacion no exigiese cálculos difíciles. Este es el objeto que se propuso *Mr. Prony* en varias obras, ya impresas, ya manuscritas depositadas en la Escuela de puentes y calzadas, y muy principalmente en las espresadas *Investigaciones*, &c.

53 En esta importantísima obra, hace hermanar los procedimientos mas sublimes de la Analísis, con los resultados mas exactos que hasta ahora ha dado la esperiencia para examinar las relaciones generales entre las longitudes, inclinaciones, figuras y magnitudes de las secciones perpendiculares, las velocidades y los gastos de las corrientes de agua, ya por lechos naturales ó facticios, ó ya por encañados; y por fin llega á presentar fórmulas generales y reglas fáciles de aplicar en la práctica, aun por personas de medianos conocimientos.

54 Para conseguir tan interesante objeto, dando la *máxima* importancia á los hechos positivos que presenta la naturaleza, y la *mínima* á las consideraciones sistemáticas, recapitula los principales resultados de la esperiencia, que se pueden emplear para el establecimiento de las bases de una teoría *Físico-Matemática* de los fluidos incomprensibles y pesados, que se mueven por cañerías ó tubos de conduccion y en los canales descubiertos, y son los siguientes.

1. *Resultado.* Un fluido, como el agua, que corre por un tubo ó canal de una longitud suficiente para que pueda establecer allí su *régimen*, esto es, para que él proceda con cierta uniformidad, sufre resistencias que pueden y deben ser miradas como fuerzas retardatrices, cuyos valores son del mismo órden que la que mide la fuerza aceleratriz debida á la pesantez; de donde se sigue que estas fuerzas pueden no solamente disminuir el efecto de la pesantez, en una cantidad finita, sinó aun aniquilarla y reducir el movimiento á la uniformidad.

2.º *Resultado.* Estas resistencias se podrán comparar con las introducidas en las ecuaciones de un sistema de cuerpos sólidos, en virtud de los esperimentos de *Amontons*, *Coulomb etc.* sobre el efecto del rozamiento, que han reconocido ser proporcional sensiblemente á la presion normal; pero en virtud de otros esperimentos numerosos y escogidos de *Dubuat*, *Dovenhein y Benezech*, parece, que en el caso de la fluidez, las resistencias que modifican el efecto de la pesantez, son, en una seccion cualquiera, independientes de las presiones de las moléculas comprendidas en esta seccion: resultado bien diferente de los obtenidos sobre el movimiento de los cuerpos sólidos resbalando los unos sobre los otros.

3. *Resultado.* Las moléculas de agua se adhieren á casi todos los cuerpos con que pueden estar en contacto, y tienen tambien entre sí una cierta adherencia. De donde resulta, que si el agua corre en un tubo ó por un lecho susceptible de mojarse, una lámina, filete ó capa de fluido se une á la materia que compone este tubo ó en la cual el lecho está abierto; y esta capa se puede considerar del mismo modo como la verdadera pared que encierra la masa fluida en movimiento. Por la misma razon, la capa que corre inmediatamente sobre la pared fluida, tiene una tendencia á fijarse á ella, que retarda el movimiento natural que tendría en virtud de su pesantez relativa; el retraso de esta capa inferior produce necesariamente otro en la capa que le está superpuesta y así sucesivamente; de modo, que se puede considerar la masa fluida como compuesta de una inmensidad de capas, ó cubiertas, de las que cada una está retardada por la que le es inferior y retarda á la que tiene encima.

4.º *Resultado.* En una seccion cualquiera perpendicular al curso de las aguas, las diversas moléculas tienen velocidades diferentes. Hay un punto de esta seccion donde se halla el *máximo* de velocidad, que en un tubo cilíndrico está en el centro de la seccion circular perpendicular al eje de la corriente, y en un canal descubierto está en general en la superficie; y si se concibe una línea recta tirada desde este punto á la pared, en el plano de la seccion, las velocidades de las moléculas fluidas, correspondientes á los diversos puntos de esta línea, disminuyen progresivamente desde el orígen de la línea donde se halla el *máximo* de velocidad hasta la pared.

5.º *Resultado.* Así, entre todos los filetes fluidos que atraviesan una misma seccion, hay dos que se mueven con una velocidad *mayor y menor*, respectivamente que todos los otros; en los canales descubiertos, una de estas velocidades se llama, *velocidad en la su-*

perficie, y la otra, *velocidad en el fondo*; y existe necesariamente otro filete fluido, cuya velocidad es tal, que multiplicándola por la superficie de la seccion perpendicular á la corriente, se tiene el producto ó gasto de dicha seccion; esta tercera velocidad, se llama *velocidad media*; y es necesario observar que cada una de estas velocidades, aunque atribuida á un solo filete, puede sin embargo serle comun con los de una capa ó zona de cierta estension, de que puede formar parte dicho filete.

6.° *Resultado.* En virtud de los esperimentos de *Dubuat*, podría parecer que la accion atractiva del tubo ó del lecho se detiene en la capa fluida que tapiza la pared ó que hace sus oficios; pues este Sábio observador habia creido reconocer que la diversidad de materias en las que se verificaba el movimiento, no hacía sensiblemente variar la resistencia.

7.° *Resultado.* La adhesion que tienen las moléculas del agua entre sí, es tan sensible, que si se quiere elevar una de estas moléculas de la superficie horinzontal de una masa estancada, hay que vencer no solamente su peso, sinó tambien una resistencia que proviene de su *adhesion ó cohesion* con las moléculas inmediatas, procedente de lo que los Físicos llaman *viscosidad*, y que há sido objeto del exámen de muchos observadores.

55 Esta *adhesion ó cohesion* de las moléculas fluidas entre sí, y la de las mismas moléculas á la materia de que el tubo está formado, ó en la cual el lecho está abierto, deben, en general, ser representadas por cantidades de valores diferentes, pero comparables ó del mismo órden las unas con relacion á las otras.

56 En virtud de estos resultados inmediatos de la esperiencia, podemos formar una idéa en general de las fuerzas aceleratrices, ó retardatrices que modifican la accion de la pesantez en el movimiento de los fluidos; y teniéndolas todas en consideracion se pueden establecer las ecuaciones de los movimientos particulares de cada uno de estos elementos; pero el exámen inmediato de estas ecuaciones da lugar á observaciones que hacen sospechar alguna laguna en la série de los hechos, por los cuales se esplica la uniformidad reconocida en el movimiento. El medio de llenar esta laguna es valuar por medio de esperimentos numerosos y exactos, las indeterminadas que entran en las espresiones, cuya forma se deduce del exámen bien circunstanciado de los hechos, que es el rumbo seguido por *Mr. Prony*. Y haciendo uso de los procedimientos mas sublimes del Cálculo Infinitesimal, llega á obtener, para determinar, en los canales descubier-

tos, cuyo régimen se halla establecido y su velocidad es constante, las relaciones que existen entre la longitud, la inclinacion, la seccion perpendicular á la corriente, el perímetro de esta seccion y la velocidad, teniendo en consideracion las fuerzas retardátrices debidas al rozamiento y á la viscosidad, esta ecuacion sencilla y general:

$$gRI = g(Ri + Ir) + AV + BV^2 \quad (1).$$

57 *Mr. Prony* hace uso de algunas letras griegas en su ecuacion, que se halla en el §. 153 de sus mencionadas *Investigaciones*; pero como nuestro objeto es presentar cuanto vamos á esponer del modo mas sencillo, á fin de que esté al alcance del mayor número posible de personas, hemos reemplazado con letras análogas de nuestro alfabeto las que *Mr. Prony* había tomado del Griego; y con el objeto de que desde luego se adquieran idéas exactas sobre este particular, vamos á manifestar con toda claridad y sencillez, lo que espresa cada una de las letras en la precedente ecuacion.

58 La *g* representa la fuerza aceleratriz de la gravedad, esto es, la velocidad que adquiere un cuerpo pesado al cabo de un segundo de tiempo de caida en el vacío, que *Mr. Prony* supone ser 9 metros, 808795, y que en Madrid es 35,0961 pies españoles segun verémos (§ 5 lib. 3.º 1.er ej.).

59 La *R* espresa lo que se llama *radio medio de la seccion*, que es igual á la superficie de la seccion que forma el líquido cuando se le da un corte al canal ó rio perpendicularmente á la direccion de la corriente, dividida por la parte del perímetro de esta seccion que está en contacto con la masa fluida. De manera, que si espresamos por *s* la superficie de la seccion, y por *p* el perímetro mojado de esta, será $R = \frac{s}{p}$ (2).

Para aclarar esto, supongamos que LM (fig. 3) represente un canal cualquiera, por donde corra un líquido ó un fluido; si por un punto cualquiera concebimos un plano vertical, que sea perpendicular á la direccion de su corriente, y suponemos que la seccion del canal esté representada por *c k l f* (fig. 4), resulta que lo que acabamos de llamar *s* representa la superficie *k l n m*, que ocupa el agua en la seccion del canal; y *p* representa la parte *m k l n* del perímetro de la seccion, que está mojado por el líquido ó que está en contacto con él; por manera que *p* es igual con el conjunto de las tres líneas *m k*, kl y ln, y se tendrá:

$p = mk + kl + ln$; $s =$ superficie $mkln$; y $R = \frac{s}{p} = \frac{\text{sup.}^e\ mkln}{mk + kl + ln}$.

60 Con el fin de ilustrar este punto, resolverémos ejemplos numéricos, eligiendo al mismo tiempo los que deban tener mas aplicaciones prácticas; á cuyo efecto, observarémos que *cuando para conducir el agua se hace uso de un acueducto de albañilería, la seccion que mas conviene por lo general, es la de un rectángulo*; y si se quiere al mismo tiempo disminuir todo lo posible el efecto de la fuerza retardatriz que opone el rozamiento y la viscosidad &c. del fluido, *la forma debe ser tal, que la seccion del fluido en el canal represente un rectángulo, que sea un semicuadrado, en que la altura del agua sea la mitad del ancho de la base* *.

Entendido esto, supongamos que $kl = 6$ pies y $km = 3$; con lo cual, la superficie $klnm$ será *igual con 6 multiplicado por 3*, que da 18, luego tendrémos $s = 18$, que son pies superficiales; la parte de la seccion del canal, que está en contacto con el fluido, se compone de las tres líneas kl, que vale 6 pies, y km, y ln que cada una de ellas vale 3 pies; luego las tres juntas valdrán $6 + 3 + 3 = 12$ pies, que son longitudinales; luego será $p = 12$ pies. De donde resulta que $R = \frac{s}{p} = \frac{18}{12} = 1,5 = 1\frac{1}{2}$; lo que quiere decir, que *el radio medio* en este caso es *un un pie longitudinal y cinco décimas de pie*, ó lo que es lo mismo *pie y medio.*

61 Cuando, para conducir el agua se hace uso de un canal abierto en el terreno, sin que las paredes sean de fábrica, la figura que

---

* Aunque el objeto que nos proponemos en esta obra no es el demostrar todas las proposiciones, pues para ello necesitaríamos engolfarnos en cálculos que la harían inaccesible á muchas personas, sin embargo darémos la razon de esta, porque se puede comprender con facilidad, y las luces que ella arroja de sí cooperarán á la ilustracion de otros puntos interesantes.

Para esto, observarémos que el rozamiento es tanto mayor cuanta mas estension ofrece el perímetro de la seccion que está en contacto con el fluido; pues tendrá mayor número de puntos que resistan á su movimiento; y demostrando la Geometría (§ 537 I de T. E.) que *de todas las figuras de igual perímetro, y de un mismo número de lados, la que forma un polígono regular, tendrá mayor superficie, resulta que*, entre un rectángulo y un cuadrado de igual perímetro, y en que por consiguiente presentará el rozamiento una igual resistencia, el cuadrado dará paso á mayor cantidad de fluido que el rectángulo; y como las mitades guardan la misma razon que los todos, *la seccion que presente un semicuadrado, dará paso á mayor cantidad de fluido que la del rectángulo.*

concilia mas todas las circunstancias que se requieren *para la permanencia del canal, sin que sus paredes se derriben, que las fuerzas retardatrices tengan el menor influjo, y que al mismo tiempo se ejecute con mas economía y dé paso á mayor cantidad de agua*, es aquella en que *la superficie de la seccion, que ocupa el agua, sea un trapécio cuya base ó lado inferior sea los dos tercios de la altura del agua en el canal; ó lo que es lo mismo, la altura del agua en el canal equivalga á tres medios, ó vez y media la espresada base inferior, y que la base superior sea igual á cinco veces la base inferior*; lo que hará, que el talud ó escarpa que formen las paredes del canal, tengan *cuatro partes de base por tres de altura*; con lo cual resulta mas sólido y permanente que el que se reputa mejor por algunos, de *ser la base del talud igual con la altura, ó de formar la pared del canal un ángulo de 45 grados con la base*; lo que no es suficiente en un gran número de circunstancias. Y así, la figura que mas conviene en general, es la que esté arreglada por el tipo de la (fig. 5), en que $BL=\frac{3}{2}BE$; y $AC=5BE$; de donde resulta $AB=\frac{5}{2}BE$ *. Luego si suponemos que $BE=4$ pies, se-

* En efecto, si las tierras tuviesen la competente resistencia, entre todos los trapecios que, á igualdad de perímetro, y por consiguiente que opondrían igual resistencia, el que daría paso á mayor cantidad de fluido, sería el que fuese la mitad de un exágono regular, por la razon dada en la nota anterior; pero el ángulo que formarían las paredes con la base siendo de 60 grados, son muy pocas las tierras que se podrían sostener con un declive tan fuerte; pues aun el declive de 45°, en que la base es igual con la altura, que conviene al declive natural de muchas tierras, es pequeño en este caso; porque, como en el lecho de los canales y de los ríos, la tenacidad de la tierra no solo debe ser suficiente para sostenerse sin rodar al fondo, sinó que deben resistir tambien á la fuerza de la corriente, la esperiencia tiene demostrado que para que resistan en general á estas fuerzas, conviene que el talud de las tierras sea de cuatro partes de base por tres de altura; y cuando la seccion tenga las dimensiones que se espresan en el texto, no solo se concilia esta circunstancia del talud, sinó que *pasa por él la misma cantidad de fluido que si la seccion fuese un semicuadrado de igual superficie y perímetro.*

Para demostrarlo, observarémos que siendo $AC=5BE$, si quitamos $BE=LM$, por lados opuestos de paralelógramos, quedará $AL+MC=4BE$; y como AL y MC son iguales por la igualdad de los triángulos ALB y EMC, resultará que $LA=2BE$, $MC=2BE$; y como AL y MC son iguales con HB y EG por lados opuestos de paralelógramos, se tendrá $HB=2BE$, y $EG=2BE$; y como $AH=BL=\frac{3}{2}BE$, y $CG=EM=BL=\frac{3}{2}BE$, tendrémos $HB : HA :: 2BE : \frac{3}{2}BE :: 4BE : 3BE :: 4:3$;

$$EG : CG :: 2BE : \tfrac{3}{2}BE :: 4BE : 3BE :: 4 : 3;$$

luego los taludes están con sus alturas en la razon de 4 á 3.

Si por los puntos m y n, medios de los lados AB y EC, tiramos las FD, KI perpendiculares á la HG, dividirán á las AL, HB y MC, EG tam-

rá BL=6 pies; AC=20 pies, y AB=10. Por lo que la superficie de la seccion perpendicular á la corriente, que ocupa la masa fluida, estará espresada (§ 356 I de C) por

$$\frac{BE+AC}{2}.BL=\frac{4+20}{2}.6=\frac{24}{2}.6=24.3=72$$ pies superficiales; este

es el valor que hemos designado por s; el perímetro mojado ABEC, que es lo que hemos llamado p, se compone de AB, de BE y EC; la AB es igual con 10, así como la EC; y BE=con 4; luego será p=ABEC=AB+BE+EC=10+4+10=24, que son pies longitudinales, y dividiendo 72 por 24, resulta para el *radio medio* R, el valor $R=\frac{72}{24}=3$ *pies longitudinales.*

62 La figura, que presentan los lechos, madres ó álveos, por donde corren los torrentes, y que se abren naturalmente por la impetuosidad de las aguas, cuando el terreno es homogéneo, se separa muy poco generalmente de la figura trapecial que acabamos de indicar.

63 La figura del lecho, madre ó álveo de los rios no es tampoco enteramente casual; pues tiene una relacion inmediata y necesaria con la tenacidad del terreno en que está formado el espresado lecho, madre ó álveo, y con la velocidad del agua que por él corre. Sobre este particular no hay tantos esperimentos como convenía; y en mi concepto, si se hiciesen en suficiente número y con la debida exactitud, teniendo en consideracion la naturaleza de los terrenos, se llegaría á encontrar la forma de la curva, que mas concuerda con la seccion del álveo de un rio en cada especie de terreno. Con este fin,

bien en dos partes iguales; y el triángulo mDB será igual con AmF, y el EnI con KnC; luego si de la superficie del trapecio ABEC, quitamos los dos triángulos AmF, KnC, y en su lugar añadimos los mDB, EIn, la superficie de dicho trapecio será igual á la del rectángulo FDIK.

Ahora, por ser HB=2BE y AH=$\frac{3}{2}$BE, resultará

$AB=\sqrt{(\frac{3}{2}BE)^2+4BE^2}=\sqrt{\frac{9}{4}BE^2+4BE^2}=\sqrt{\frac{25}{4}BE^2}=\frac{5}{2}BE$; y como $FD=\frac{3}{2}BE$, y $DB=BE=\frac{2}{2}BE$, resulta $FD+DB=\frac{3}{2}BE+\frac{2}{2}BE=\frac{5}{2}BE$; luego, como cosas iguales á una tercera son iguales entre sí, resulta AB=FD+DB; y por la misma razon se tendrá EC=EI+IK; luego si sumamos estas dos ecuaciones, tendrémos AB+EC=FD+DB+EI+IK; y añadiendo á ambos miembros la BE, resultará

AB+BE+EC=FD+DB+EI+IK+BE ó ABEC=FDIK; luego *los perímetros de ambas secciones son iguales.*

Ya solo nos falta probar que la seccion FDIK es un semicuadrado; para lo cual nos basta observar que siendo HB=2BE, su mitad DB será igual con BE; del mismo modo se tendrá EI=BE; luego la base DBEI es igual con 3BE; y como la altura FD es igual con $\frac{3}{2}$BE, resulta que DF es la mitad de la DI; luego la construccion del texto concilia todas las circunstancias.

voy á poner aquí las dos secciones, que encontré, de los rios Jarama y Guadalix cuando, en virtud de Real órden, practiqué en el año de 1819 una nivelacion, con el objeto de averiguar si era posible realizar el proyecto de conducir aguas á Madrid; y determinaré tambien el *radio medio* correspondiente á estas secciones: esperando que las personas, que se ocupen de las aplicaciones de Hidráulica, ejecutarán otras operaciones análogas, y de este modo se llegará á perfeccionar este importante ramo.

64 En efecto, el dia 31 de julio de 1819, para determinar la cantidad de agua que llevaba el *Jarama*, reunido ya con el *Lozoya*, elegí un parage un poco mas abajo de la casa del guarda Antonio Martinez, en que había una parte del álveo del rio en línea recta, y cuya longitud era de 150 pies.

El término medio, que resultó de tres esperimentos, fué que el *nadador* andubo la espresada distancia de 150 pies en 34 $\frac{2}{3}$ segundos; el ancho del rio era de 27 pies, y la seccion resultó igual con la (fig. 6), cuya superficie determinada por el método espuesto (§ 518 esc. 4.° I. T. E.), pero en escala 5 veces mayor, se halló ser de 40,923 pies superficiales; y el perímetro mojado de 27,887 pies longitudinales; y dividiendo la superficie de la seccion por el perímetro mojado, resulta que *el radio medio* del *Jarama*, en el parage citado, es de 1,467 pies, ó lo que es lo mismo 1 *pie*, 5 *pulgadas y* 7 *líneas.*

65 Respecto del *Guadalix*, el dia 2 de agosto del espresado año de 1819, elegí un parage donde el álveo seguía casi una línea recta de 19 pies; y de 4 esperimentos resultó, que el nadador andubo la espresada distancia de 19 pies en 10,25 segundos.

El ancho del rio era de 9 pies, y la seccion, que está representada (fig. 7), resultó contener 3,126 pies superficiales; el perímetro mojado era de 9,228 pies longitudinales; luego si dividimos los 3,126 de la seccion por 9,228, resulta que *el radio medio* era de 0,3387 de pie, *que hacen* 4 *pulgadas.*

66 Tambien se debería ejecutar lo mismo con los canales; pues tengo observado que un canal, cuya seccion es un trapecio, no subsiste con ella mucho tiempo, sinó que tanto por las moléculas de tierra que se desprenden de sus orillas, como por el depósito de fango que originan las aguas, resulta que los ángulos inferiores se redondéan, y el perímetro de la seccion es una verdadera curva. He tomado el dia 21 de marzo de 1818 la figura de esta curva con la mayor exactitud, aprovechándome de una ocasion en que se trataba de limpiar

el canal de Manzanares en las inmediaciones de Madrid; y hallé efectivamente la curva representada por la (fig. 8), que prescindiendo de las irregularidades accidentales, se aproxima á una elipse, cuyo eje mayor es el ancho del canal, que era de 63 ½ pies españoles, y el semieje menor, la mayor profundidad, que era de 7 ½ pies.

Entregué una copia de ella al *Excmo. Señor Duque de Alagon*, Protector entónces del canal; y estoy seguro de que, ejecutándose repetidas veces estas operaciones, se hallaría la verdadera curva que debe formar el perímetro mas conveniente á dicha seccion, tanto en los canales como en los rios. Para encontrar el *radio medio* del espresado canal de Manzanares, observarémos que la superficie de la seccion que ocupaba el agua, tenia 333 pies superficiales; y el perímetro mojado 67 pies longitudinales; de donde resulta, dividiendo 333 por 67, que el radio medio es 4,94 *pies longitudinales.*

67 Volviendo á continuar la esplicacion de lo que significan las letras de la (ec. 1), debemos decir, que I representa la inclinacion, declive ó pendiente que tiene el canal ó el rio; por ejemplo, si en la (fig. 3) tiramos por M la línea horizontal MN hasta que llegue á encontrar á la vertical LN tirada por el punto L, resulta que I representa la relacion que tiene la LN con la LM, esto es, se tiene $I=\frac{LN}{LM}$, ó espresando LN por H, y LM por L, se tendrá $I=\frac{H}{L}$ (3). El valor de I es el seno del ángulo LMN; en efecto, por lo esplicado (§ 464 Esc. I de C) se tiene $LN=LM\times$ *sen. áng.* LMN; que da sen. $LMN=\frac{LN}{LM}$. Esta inclinacion, pendiente ó declive, se mide no precisamente tirando la horizontal y vertical, por los estremos del canal, sinó por dos puntos cualesquiera, tales como *l* y *m*; pues el triángulo *lmn* dará, del mismo modo, sen. $lmn=\frac{ln}{lm}$; y como los triángulos LMN y lmn son semejantes (§ 331 I de C), se tendrá que la relacion de LN con LM será la misma que la de *ln* con *lm*; por lo que resultará *sen.* $lmn=\frac{LN}{LM}$; y podemos establecer en

general, *que la pendiente, inclinacion ó declive de un canal ó de un rio, es la relacion que tiene el desnivel de dos puntos cualesquiera del lecho, ó mas bien de la superficie del agua, con la parte de longitud del lecho comprendida entre dichos dos puntos.*

Para que el agua corra, es indispensable que el lecho tenga una cierta inclinacion; ó si el lecho es horizontal, es preciso que el agua salga de un depósito que esté mas alto que él, ó al ménos que el parage donde termina el lecho; pues sin el concurso de alguna de estas dos circunstancias, el agua estaría en reposo, formando una superficie horizontal.

68 Pero puede suceder que la inclinacion sea tan pequeña, que la fuerza de la gravedad relativa, que debería obligar á correr al agua, no sea suficiente para vencer la resistencia que ofrece el rozamiento y la viscosidad, y este límite de la menor inclinacion que puede tener un canal ó un rio, para que las aguas tengan algun movimiento sensible, es lo que representa la letra i en la mencionada ecuacion (1).

69 Aunque el lecho, madre ó álveo de un rio ó de un canal tenga una inclinacion sensible, puede suceder tambien que sea de tal modo estrecho, que la masa de agua que pueda pasar por él sea tan pequeña, que no tenga suficiente fuerza para vencer la resistencia que opone el rozamiento y la viscosidad; en este caso el *radio medio* será sumamente pequeño; y r en la citada (ec. 1) espresa el límite, esto es, el menor valor que puede tener el *radio medio* de la seccion de un canal ó de un rio para que las aguas tengan un movimiento sensible.

70 Las letras A y B representan cantidades constantes, que se deben determinar por la esperiencia; y V representa la *velocidad media* de la corriente, cuya esplicacion hemos dado (5.° resultado § 54).

71 Segun los esperimentos de *Mr. Dubuat* (Princ. de Hidr. § 53) resulta que el valor de $i=\frac{1}{500000}=0,000002$; y el valor de r se puede reputar igual con 0,0003 de metro=0,001 de pie español; por lo cual resulta que las dos partes Ri, Ir que componen el segundo factor del primer término del segundo miembro de la espresada ecuacion (1) siendo muy pequeñas, todo el mencionado término será muy pequeño en comparacion de los demas; por lo que no resultará ningun error sensible en la práctica, si, prescindiendo del espresado primer término, se hallan los valores de A y B por buenos esperimentos, hechos con el mayor esmero, sobre el movimiento del agua.

72 Esto es lo que ha ejecutado *Mr. Prony*; pues omitiendo dicho primer término del segundo miembro, establece como ecuacion fundamental para el movimiento del agua en los canales descu-

biertos, y que conviene tambien á los rios, la siguiente:

$$gRI=AV+BV^2 \quad (4).$$

Ecuacion que por otra parte, va conforme con los esperimentos de *Coulomb*; pues dan á conocer, que la espresion de V en que se cifra la dependencia que tienen entre sí la V y el valor gRI, solo debe contener dos términos, uno en que entre la primera potencia de la velocidad, cual es el AV, y otro en que entre la segunda, como es el BV^2. Luego solo falta, para poder hacer aplicaciones útiles á la práctica, el determinar los coeficientes A y B, con el mayor cuidado, esmero y exactitud; y esta determinacion es uno de los puntos mas capitales de las investigaciones de *Mr. Prony*, cuyos resultados pondrémos en el libro 3.°, al ocuparnos de dar á esta fórmula todas las trasformaciones que convengan para poderse aplicar con éxito feliz en cualquiera de los puntos del territorio Español, ya sea de la Península ó ya de Ultramar.

73 Para el caso en que el agua pasa por tubos, cañerías ó conductos, saca tambien *Mr. Prony* una ecuacion análoga á la (1), cuyo segundo miembro contiene tres términos, en el que el primero, que no contiene á la velocidad, es de tal pequeñez, que no influye sensiblemente en la práctica; por lo cual prescinde de él, y toma por ecuacion fundamental, la $\frac{1}{4}Dgj=AV+BV^2$ (5).

74 En la cual, *g* representa del mismo modo la fuerza de la gravedad; D espresa el diámetro del tubo, cañería ó conducto, y $\frac{1}{4}D$ espresa aquí el *radio medio* del tubo, que es lo que en la (ec. 1) habíamos espresado por R; y en los tubos es igual *con la cuarta parte del diámetro por la siguiente razon. El radio medio es igual á la superficie de la seccion que forma la masa fluida dividida por el perímetro mojado de la seccion.* En un tubo cilíndrico, la seccion es un *circulo*, *cuya superficie es igual con la circunferencia multiplicada por la mitad del radio*, *ó cuarta parte del diámetro*; el perímetro mojado en este caso *es toda la circunferencia; luego si dicha superficie la dividimos por la circunferencia*, *vendrá al cociente la cuarta parte del diámetro.*

75 En esta ecuacion, la j espresa la inclinacion, pendiente ó declive del tubo, ó lo que es lo mismo la diferencia de nivel entre los dos puntos estremos del tubo, esto es, entre el punto por donde entra el agua y el punto por donde sale, dividida por la longitud de todo el tubo. Sea por ejemplo OMNPK (fig. 9) un tubo que recibe el agua en O de un depósito ó manantial, y la arroja por el punto K; lo que en la (ec. 3) se representa por j es igual á la diferencia de

nivel $KH=QO$, que hay entre el centro del tubo por donde sale el agua en K y el centro del mismo tubo por donde entra el agua en O, dividida por la longitud de todo el tubo estendido en línea recta; que, espresando esta longitud por L, y KH por H, resultará que en este caso $j=\frac{H}{L}$.

76 Si el tubo fuese enteramente recto, el declive entre sus dos puntos estremos sería igual á la relacion que tuviese el desnivel entre otros dos puntos cualesquiera con la parte del tubo interceptada entre dichos puntos; pero si tiene sinuosidades, en cualquier sentido que sea, lo que espresa el declive j debe ser la relacion ó el cociente que resulte de dividir el *desnivel entre los dos puntos estremos de entrada y salida del agua por la longitud de todo el tubo, considerado estendido en línea recta.*

77 Pero aquí puede suceder que el estremo O, (fig. 10) del tubo reciba el agua de un depósito MP que la contenga á una cierta altura NP sobre el centro del mismo tubo; y tambien que el otro estremo K del tubo vaya á parar á un depósito FD que contenga agua hasta una determinada altura GD por encima del centro K del tubo.

En este caso, la diferencia entre el nivel del agua en el punto por donde esta entra, y el punto por donde sale, se halla espresada efectivamente por la línea CH; la cual es igual con $BH-CB$ ó con BH ménos CK mas KB.

Por lo que, si espresamos por H la línea BK que representa la diferencia de nivel entre los centros O y K de los orificios estremos de entrada y salida del tubo OSK; por C la altura $NP=BH$ de la carga sobre el orificio O de entrada, y por c la altura KC de la carga sobre el orificio K de salida, la cantidad que, en los canales descubiertos hemos representado (67) por I, aquí lo estará por $j=\frac{H+C-c}{L}$.

78 Las letras A y B de la ecuacion (3) son cantidades constantes, que se deben tambien determinar por la esperiencia; pero tienen diferentes valores que las A y B de la ecuacion (1); y la V espresa aquí, del mismo modo que allá, la *velocidad media* del agua ó del fluido que se considere.

79 Por lo que, toda la dificultad consiste ya en determinar los valores de A y de B, en virtud de un competente número de esperi-

mentos exactos, que es lo que ha hecho *Mr. Prony*: cuyos valores darémos á conocer en el libro siguiente, cuando demos á la fórmula espresada las trasformaciones convenientes para que se pueda aplicar á cualquier punto del territorio español en ambos mundos.

80 *Mr. Prony*, con el fin de hacer mas palpable el método de que se ha valido, representa *gráficamente* por medio de las figuras 11 y 12 (lámina 2) los resultados de la Análisis, de que ha usado para estas determinaciones, en virtud de la teoría rigorosa del movimiento de los fluidos combinada con la esperiencia. Para lo cual, dividiendo la ecuacion (2) por V, obtiene $\frac{gRI}{V}=A+BV$; y bajo esta forma, toma por abscisas los valores V de la *velocidad media*, dados por la esperiencia y referidos á una escala de $\frac{1}{4}$ de metro por metro; y las ordenadas representan los valores de $\frac{gRI}{V}$, dados tambien por la esperiencia, pero referidos á una escala cien veces mayor que la otra.

81 El polígono *fstxc* (fig. 11) representa los resultados de la esperiencia en los canales descubiertos; y la línea recta *bd* manifiesta las leyes regulares de incremento que rectifican las anomalías de las ordenadas correspondientes á los polígonos; y pues que los vértices de estos se hallan, tanto superiores á dicha línea recta, como inferiores, y siempre distan poco de ella, se presenta á nuestros sentidos, que suponiendo uniformes los resultados con los que espresa la línea *bd*, no solo nos aproximamos lo bastante á los que da la naturaleza, sinó que, en algunos casos, será mas exacto el valor regular que dé la línea recta, que no el de un esperimento aislado, en que los errores inevitables en las observaciones pueden tener cierta influencia.

La (fig. 12) representa de un modo análogo los resultados del movimiento del agua en los tubos de conduccion ó en las cañerías.

82 *Mr. Eytelwein* en Prusia, ha seguido un método análogo al de *Mr. Prony*, para el movimiento de las aguas; y haciendo uso de un número de esperimentos, mayor que los que pudo consultar *Mr. Prony* hasta 1804, ha presentado fórmulas semejantes á las de *Mr. Prony* en las Memorias de la Academia de Ciencias de Berlin, año de 1810 y siguientes.

83 *Mr. Bidone* leyó en la Academia de Turin el 12 de di-

ciembre de 1819 una Memoria *sobre los remolinos y sobre la propagacion de las ondas*, en la cual tubo que tomar en consideracion todos los elementos que determinan el movimiento del agua en un canal de figura y de inclinacion dadas, cuya corriente ha llegado á un estado permanente. Este Sábio ha hecho por sí varios esperimentos, los cuales están acordes con los resultados que da la fórmula de *Mr. Eytelwein*. Y la siguiente carta corrobora la conformidad de la teoría de *Mr. Eytelwein* con las mejores observaciones acerca del curso de los grandes rios.

"*Estracto de una carta de Mr. Bidone Profesor en la Universidad de Turin, escrita á Mr. Hachette.*

Turin 13 de agosto de 1823.

Me escribís que vos y *Mr. Lacroix* habeis hecho traducir la Memoria de *Mr. Eytelwein*, que tiene por título (en aleman) *Investigaciones sobre el movimiento del agua*, &c., impresa en el tomo de la Academia de Berlin, año de 1814 y 15. Haceis una cosa verdaderamente útil é importante, para los progresos de la Hidráulica teórica y práctica. V. sabrá sin duda que *Mr. Eytelwein* en el tomo de la misma Academia correspondiente á 1818 y 19 (impreso en 1820), ha dado la continuacion de sus *Investigaciones*, &c.; pues yo voy á deciros lo que acaso no sabréis sobre este particular, por la dificultad de las comunicaciones, y es, que cuando yo he tenido conocimiento de la Memoria de *Mr. Eytelwein* la he traducido para mi uso particular; y habiéndolo escrito á *Mr. Venturoli*, Profesor de Hidráulica en Bolonia, y que ahora preside en Roma la Escuela de puentes y calzadas; este me ha rogado que le envie mi traduccion, lo que yo he verificado gustoso. Él ha encontrado la fórmula de *Mr. Eytelwein* tan acorde con el considerable número de esperimentos que *Mr. Eytelwein* mismo refiere, que *Mr. Venturoli* ha hecho de ella un estracto en italiano, y lo ha publicado el año anterior, en una obrita de mucha importancia que tiene por título, *Ricerche Geometriche et Idrometriche fatte nella Scuola degli ingegneri pontifici d'acque e strade l'anno 1821. Milano 1822, per Paolo Emilio Giuffi* *. En el estracto publicado por *Mr. Venturoli*, se han añadido entre otras cosas, los

* En el capítulo 9.° del libro 3.° insertamos la parte mas esencial de esta obra.

esperimentos muy en grande, hechos en Italia sobre el curso de las aguas en los rios caudalosos, tales como en el Po, cerca de Ferrara, y en el Tíber cerca de Roma. La seccion del Po era, en el momento de los esperimentos, de mas de 3700 metros cuadrados (47657 pies españoles cuadrados). Estos esperimentos se hallan acordes con la fórmula de *Mr. Eytelwein*, &c."

84 Habiéndose concluido en Francia la edicion de la citada obra de *Mr. Prony*, intitulada *Investigaciones*, &c., todas las personas dedicadas á la Hidráulica manifestaban deséos de que se publicase una nueva impresion; y no permitiendo las muchas, graves y perentorias ocupaciones de *Mr. Prony*, llevar á cabo tan pronto como convenía una segunda edicion mas completa, que prepara, á instancias de varias personas ilustradas en esta materia, y en atencion á la inmensidad de canales, cuyos trabajos están emprendidos, ó se continúan en Francia, se resolvió en 1825 á publicar provisionalmente cinco tablas de las contenidas en las mencionadas *Investigaciones*, bajo el título de *Coleccion de cinco tablas* 1.° *para facilitar y abreviar los cálculos de las fórmulas relativas al movimiento de las aguas en los canales descubiertos y tubos de conduccion ó encañados*: 2.° *para presentar los resultados de ciento sesenta y siete esperimentos empleados para el plantéo de estas fórmulas*; cuya impresion, habiéndose hecho por cuenta del Gobierno para uso de los Ingenieros de Puentes y Calzadas, y por lo mismo no hallándose de venta, *Mr Prony* tuvo la bondad de facilitarme un ejemplar.

85 La primera de estas cinco tablas tiene por objeto el facilitar los cálculos que se dirigen á fijar las relaciones entre la velocidad del agua en un canal ó en un tubo, sus longitudes, sus inclinaciones, la seccion del canal, y su perímetro, ó el diámetro del tubo y las cargas de agua sobre sus orificios estremos; y contiene los valores de RI, esto es, del producto del radio medio por la inclinacion ó declive, calculados para los canales, por la fórmula de *Mr. Eytelwein* y por la de *Mr. Prony*, y los de $\frac{1}{4}Dj$, que es el producto análogo para los encañados ó tubos de conduccion, calculados por la fórmula de *Mr. Prony*; y todo para valores de la velocidad media desde 0,01 de metro (unas 5 líneas españolas) por segundo hasta 3,00 metros (unos diez pies y medio españoles).

86 La segunda tabla presenta los resultados de los esperimentos en virtud de los cuales se han calculado, los números de la tabla primera para los canales; y son en todo 99 los esperimentos, hechos por *Dubuat*, *Woltemann*, *Funk*, *Brünings*, *Bidone*, *Bonati y en*

la Escuela de puentes y calzadas de los Estados Romanos; en los cuales los declives ó inclinaciones abrazan desde $0,00003=\frac{3}{100000}=\frac{1}{33333}$ hasta cerca de $0,02=\frac{1}{50}$; las velocidades medias por segundo, desde 0,124 de metro, que equivalen á unas 4 pulgadas españolas, hasta 2,42 metros, que equivalen á unos 9 pies españoles; y las superficies de las secciones desde 0,014 de metro cuadrado, que equivalen á unas 28 pulgadas cuadradas españolas, hasta 3734 metros cuadrados, que equivalen á 48095 pies españoles cuadrados.

87 La tabla tercera manifiesta los resultados de cincuenta y un esperimentos hechos por *Couplet*, *Bossut* y *Dubuat*, sobre el movimiento de las aguas en tubos cilíndricos, y los de las fórmulas deducidas de la teoría de los fluidos, combinada con estos mismos esperimentos, para servir á la determinacion de las relaciones que existen entre la longitud de un tubo, su inclinacion, su diámetro, las cargas de agua sobre sus dos estremos y la velocidad del agua en el tubo: teniendo en consideracion la viscosidad y la resistencia del rozamiento. Los tubos, de que se ha hecho uso en los esperimentos, tenían desde 1 pulgada hasta 18 de diámetro, y desde 3 metros, que equivalen á 10,8 pies españoles, hasta 2280 metros, que equivalen á 8114 pies españoles de longitud, variando las cargas de agua sobre el orificio de salida desde 0,004 de metro, que equivalen á 2 líneas españolas, hasta 4 metros, que equivalen á 14 pies españoles.

88 La tabla cuarta dá las velocidades medias correspondientes á las velocidades en la superficie y recíprocamente, desde 0,01 de metro hasta 3 metros, esto es, desde unas cinco líneas españolas hasta mas de diez pies y medio españoles.

89 Y por último, la tabla quinta contiene los resultados de la esperiencia y los del cálculo para la verificacion de una fórmula que dé la velocidad media de una corriente de agua por la velocidad en la superficie, y al contrario, teniendo en consideracion, conforme lo indican las observaciones, la variacion que sufren las relaciones de estas dos velocidades á medida que aumentan: siendo 17 los esperimentos de que se ha servido.

Los resultados, fórmulas, reglas y observaciones que contiene esta obrita son de la mayor importancia; pues van conformes con todos los esperimentos de que se tiene noticia, y con los trabajos de *Mr. Eytelwein*. Al concluir esta matéria, dice *Mr. Prony* pág. 26; "Yo añadiré que los resultados de los cálculos de velocidad que se obtienen, ya por medio de la tabla primera, ya empleando la fórmula (que hemos señalado (§ 72) por (4)), merecen mas confianza

que los que se dedujesen de la consideracion aislada de esperimentos elegidos en casos que se aproximasen al que se quisiese tratar, en atencion á que la fórmula y la tabla se han planteado en virtud del conjunto de los esperimentos, por métodos que regularizan este mismo conjunto y corrigen las anomalías individuales; si, no obstante, un simple práctico, por el conocimiento de la forma y magnitud de la seccion del canal y su declive, quisiese calcular el producto ó la velocidad, apoyándose inmediatamente en dos ó tres datos de hecho, sin tomar en consideracion las correcciones de estos datos por su combinacion con un sistema de otras observaciones, sería necesario preliminarmente que conociese el elemento de cálculo que coloca el caso en que se encuentra, ó entre los que suministran los datos, ó al ménos entre los que mas se le acercan. Este elemento de cálculo no es ni la magnitud de la seccion, ni su perímetro, ni el declive, considerados aisladamente, sinó que se compone de los tres; puesto que es el producto de la seccion por el declive, dividido por el perímetro, es decir, la cantidad designada por *RI* *. Todas las observaciones conocidas conducen á probar que esta cantidad crece ó decrece al mismo tiempo que la velocidad; esta es una verdad de *hecho*, independiente de toda consideracion analítica; no hay ninguna otra en la Física mas sólidamente comprobada; y sí, en casos raros, parece ser defectuosa, estos casos se refieren á esperimentos estrémamente aproximados, en los cuales el mas ligero error invierte en apariencia la ley natural de los fenómenos.........

"Yo pienso (continúa *Mr. Prony*) que lo que precede es mas que suficiente para convencer á un lector juicioso, de que los resultados deducidos, ya de la fórmula citada, ya de la tabla primera, formada en virtud de dicha fórmula, merecen al ménos tanta confianza como si estuviesen inmediatamente suministrados por la observacion. Asi, las determinaciones relativas á trabajos hidráulicos concluidas de estos resultados, deben necesariamente producir el efecto que de ellas se espera, cuando las obras, despues de su ejecucion, se encuentran exactamente en las circunstancias á que se han referido los elementos del cálculo."

Mr. Bélanger, en una Memoria impresa en 1828, intitulada: *Ensayo sobre la solucion numérica de algunos problemas relativos*

---

* Sustituyendo por R su valor $\frac{s}{p}$ (ec. 2), resulta que $RI = \frac{s \times I}{p}$, que es lo que dice el Autor.

al movimiento de las aguas corrientes, ha generalizado algun tanto la cuestion, determinando la fórmula que se aplica al movimiento simplemente *permanente* de las aguas.

La distincion entre el *régimen uniforme*, y el *régimen* simplemente *permanente*, no se había establecido bien todavía; y se debe á este Ingeniero haber dado este paso mas, en esta parte de la ciencia hidráulica esplicándose para darle á conocer en estos términos.

"Imaginemos un canal de una longitud cualquiera, cuyas paredes sean inmóviles é inalterables por la corriente, que podrá en ellas establecerse; supongamos que su declive y su perfil trasversal varíen segun una ley cualquiera, con tal que de ella no resulten en las paredes mudanzas repentinas de direccion que puedan ocasionar remolinos ú ondulaciones en el agua que pase por ellas; concibamos en fin, que esté alimentado este canal, en uno de sus estremos, por una fuente ó manantial, que suministre un producto constante por segundo, y ofrezca en el otro estremo un modo fijo de evacuacion, por ejemplo, una desembocadura en un depósito de nivel invariable, ó un desagüe de superficie, ó bien aun una catarata de fondo enteramente libre por el lado inferior. Despues de trascurrido algun tiempo, contando desde la primera introduccion del agua en el canal, se establecerá en toda su estension, una corriente, de que cada seccion trasversal gastará, por segundo, precisamente la misma cantidad de agua que suministra el manantial. Desde entónces, la superficie de la corriente de agua conservará una posicion invariable, de manera, que en cualquier instante, que se tome una seccion de la corriente, por un mismo plano fijo cualquiera, esta seccion será siempre la misma. Este estado del curso de agua se llama *régimen permanente*.

»Él tiene por sola condicion, que la corriente se pueda descomponer en filetes fluidos invariables de forma y de posicion, gastando un volúmen de agua constante durante la unidad de tiempo; pero cuya seccion, y por consiguiente la velocidad, pueden ser variables de un punto á otro de un mismo filete.

»Si se añade, ademas, la condicion de que la velocidad, y la seccion de cada filete en particular sean constantes, el régimen viene á ser entónces *uniforme*."

Mr. Genieys ha publicado en 1829 una obra muy apreciable intitulada: *Ensayo sobre los medios de conducir, elevar y distribuir las aguas*; y despues de dar á conocer lo que *Mr. Bélanger* llama *régimen permanente*, añade: "En el caso en que el declive

y el perfil del canal sean por todas partes los mismos y su direccion rectilínea, se conoce que esta uniformidad no puede tener lugar, á ménos que la superficie del agua no tome exactamente la misma inclinacion que el fondo del canal. Pero esto es algunas veces imposible, por ejemplo cuando el fondo es horizontal, ó cuando el declive está en sentido contrario de la corriente. Era pues sumamente importante establecer la distincion entre las dos especies de régimen, y de no mirar el régimen uniforme, sinó como una modificacion del régimen permanente, es decir, que era necesario hallar una fórmula general que representase todas las circunstancias del movimiento permanente de las aguas; y manifestar que un modo simple de satisfacer á esta fórmula, se hallaba en el caso particular del régimen uniforme."

Y, despues de ocuparse de la fórmula de *Mr. Bélanger*, se contrae á los métodos de *Mr. Prony*, cuyas tablas inserta usando de sus fórmulas.

90 Este es el estado que presenta en el dia lo relativo al movimiento de las aguas; y aunque en mi concepto debe causar admiracion el cúmulo de dificultades que ha llegado á vencer el espíritu humano en esta parte, falta aun mucho para que esta materia se halle completamente tratada. En lo que falta, ya tenemos dicho que lo principal es el que se conozca la ley de íntima composicion en los fluidos, que pudiéndose someter al cálculo con sencillez, facilitase la integracion de las ecuaciones generales de su movimiento, que pongo al fin del tom. 3.º part. 1.ª de mi *Tratado Elemental de Matemáticas*, que contiene la *Mecánica*; pero, á falta de esto, ó en el ínterin que se llegue á descubrir por los Físicos ó Químicos, la espresada ley, convendría hacer nuevos esperimentos, teniendo en consideracion mas circunstancias ó elementos de los que hasta ahora han llamado la atencion de los Observadores; pues que, segun mi opinion, gran parte de las anomalías que se notan en los resultados que se han obtenido, aun por los Autores que con mas tino, sagacidad y acierto, han hecho sus observaciones, proviene de no haber atendido á estas tres circunstancias muy esenciales: 1.ª *á la variacion de la fuerza de la gravedad, teniendo en consideracion la latitud y altura sobre el nivel del mar, en los parages de las observaciones*; 2.ª *á la temperatura del agua, cuando se han egecutado los esperimentos*; y 3.ª *al estado de la atmósfera, atendiendo á la presion del aire, á su elasticidad, grado de humedad que contiene y á la direccion del viento.*

91 La fuerza de la gravedad varía (V. § 162 del tomo 3.º parte 1.ª del Tratado elemental) segun la latitud y altura de los parages sobre el nivel del mar; la única causa que produce el movimiento de las aguas es la gravedad; y sin embargo, hasta ahora en ninguno de los esperimentos se ha tomado en consideracion, y aun en algunos se ha tomado con inexactitud. En efecto, *Mr. Bossut* hizo sus esperimentos en Mezières, que estando segun él dice *grado y medio* mas al norte que París, la fuerza de la gravedad debe ser mayor que en dicha capital, y sin embargo, él toma el valor de la gravedad en París. Por otra parte, Mezières debe hallarse mas alto que París respecto del nivel del mar; por lo que, bajo este aspecto, la fuerza de la gravedad debía ser menor; luego aquí los dos descuidos de *Mr. Bossut* respecto de la gravedad, influyen el uno en sentido opuesto al del otro, y pueden compensarse en todo ó en parte. Hay ademas otro descuido en los citados esperimentos. Dice el mismo *Mr. Bossut* (§ 481 de su Hidrodinámica), *que la medida del tiempo la tomó lo mas frecuentemente por el péndulo simple de segundos; y que aunque la longitud que él le dió conviene al paralelo de París, se le puede emplear tambien en Mezières.* Yo estoy de acuerdo con *Mr. Bossut* en que, para una observacion aislada, nada importaría el hacer una observacion en Mezières con el mismo péndulo que corresponde á la latitud de París; mas para una serie de esperimentos que han de ser la base fundamental de una teoría, y en que se opera haciendo los esperimentos en chico para sacar consecuencias y fórmulas que se puedan aplicar en grande, se debía haber procedido con la mayor escrupulosidad y exactitud, hasta teniendo en consideracion la dilatacion del péndulo por el calor, &c.

92 *Mr. Dubuat* supone desde la pág. 6 del primer tomo de su obra, que $2g$, esto es, el duplo de la velocidad adquirida por un cuerpo al fin del primer segundo de su caida, es 724 pulgadas francesas; por lo que resulta para la fuerza de la gravedad 362 pulgadas francesas, que equivalen á 30,166 pies franceses. La fuerza de la gravedad en París es 30,196 pies franceses. Luego *Dubuat* tomó por fuerza de la gravedad un valor menor que el que se le supone en París. Gran parte de los esperimentos los hizo en el rio Hayne, el cual está mas al norte de París, y mas bajo que dicha capital respecto del nivel del mar; luego *Mr. Dubuat* cometió un gran descuido en esta parte, pues tomó por fuerza de la gravedad una cantidad menor que la de París, cuando debía ser mayor por las dos espresadas razones. A esto se dice ordinariamente que la varia-

cion de dicha fuerza es insensible, lo cual no es tan exacto como se supone.

En efecto, á la latitud de París, segun la tabla del (§ 48 de mi Compendio de Mecánica práctica), un grado de diferencia en la latitud produce cerca de tres milésimas de pie español de diferencia en la fuerza de la gravedad en un segundo, lo cual equivale á cerca de media línea española; y media línea es un espacio que se distingue bien aun á la simple vista; y por consiguiente su influjo puede ser bien sensible; y aunque no lo fuera en un segundo, lo sería ya en una hora, que se compone de 3600 segundos, y mucho mas en un dia, en un mes, en un año, en un siglo, &c., &c.

Esto es solo por un grado de diferencia en la latitud; pero si se reuniese la circunstancia de ser muchos los grados, y ademas el que varíe la altura sobre el nivel del mar, se deduce que *de no atender á las variaciones de la fuerza de la gravedad, pueden seguirse inexactitudes de la importancia mas trascendental.*

93 Los esperimentos de *Brünings* se han hecho en el *Rhin*, el *Waal* y el *Issel*; los de *Volttman*, en los canales de desecacion cerca de Cuxhaven y Ritzebuttel; y los de *Funk* en el *Weser*, parages todos donde la gravedad debe ser muy diferente de la de París, por las dos razones espresadas; y sin embargo *Mr. Eytelwein* toma por fuerza de la gravedad la que se verifica en París. Y aunque él da cierta generalidad á sus fórmulas, pues dice: "La velocidad media del agua en la medida de un pais cualquiera es pues

$$V=-0{,}0067675\times g+\sqrt{(557{,}798g\times RI+0{,}0000458g^2)};$$

donde g espresa el espacio corrido en el primer segundo por un cuerpo, que es la mitad de la fuerza de la gravedad adquirida en el mismo tiempo, sin embargo, no quiere decir que se tome el valor que tenga en cada localidad, sinó que por g, se ponga el número equivalente á 181,176 pulgadas de París, espresado en la medida que se quiere valuar; pero no la cantidad que corresponde á g en cada parage segun su latitud y altura sobre el nivel del mar."

94 *Mr. Prony* dice en la pág. 9 de su espresada obra *Coleccion de cinco tablas etc.* "Yo observo que g, aunque susceptible de pequeñas variaciones, en diferentes puntos del esferoide terrestre y en diferentes alturas sobre el mar, debe ser considerada como una constante absoluta en el género de investigacion de que aquí se trata." Aunque yo respeto muchísimo la bien merecida reputacion de *Mr. Prony*, y le estoy muy agradecido por los favores que me ha

dispensado mientras he permanecido en París, me parece que su proposicion solo se podrá considerar como verdadera en aquella parte de la Francia que no es montuosa; la cual viene á tener por centro á París; y en ella las variaciones de la fuerza de la gravedad, no son demasiado grandes; pero de ninguna manera, se pueden considerar sus tablas aplicables á todos los paises, y con especialidad á la España: por lo cual, en el ínterin que en nuestro territorio se hacen esperimentos directos, teniendo yo en consideracion las fórmulas de *Mr. Prony* y de *Mr. Eytelwein*, les doy las trasformaciones convenientes hasta presentar una que se pueda aplicar á cualquier punto de la Tierra.

95 El no haberse tenido en consideracion la temperatura del agua en los esperimentos, debe ser otro orígen de inexactitud en los resultados; porque la viscosidad de los fluidos no puede ménos de tener una cierta relacion con su densidad; y como esta varía con la temperatura, los resultados de los esperimentos hechos cuando el agua esté cerca del término de su mayor densidad, que es á unos cuatro grados del termómetro centígrado, deben ser muy diferentes de los que se obtengan cuando el agua tenga veinte, treinta ó mas grados de calor.

96 El no haberse tenido en consideracion el estado de la atmósfera, puede originar inexactitudes mas considerables de lo que se cree. Cuando el viento da sobre una gran superficie de agua estancada, ó en equilibrio, él por sí solo produce una cierta agitacion y la obliga á formar oleadas, que se presentan á la vista, y son mas ó ménos grandes segun la magnitud del depósito y fuerza del viento. Cuando el agua está en movimiento, si el viento sopla en la direccion de la corriente, aumenta la velocidad; y si en direccion contraria, la disminuye; lo cual se verifica de un modo muy sensible. Este influjo varía con la presion del aire, su elasticidad y aun con el grado de humedad que pueda contener; por lo cual, al ejecutar estos esperimentos, se debería tener en consideracion tambien el barómetro, higrómetro, y anemómetro.

97 A estas omisiones se deben atribuir gran parte de las anomalías de consideracion, que se notan en lo que el mismo *Dubuat* espresa. En efecto, dicho Autor dice (§ 53) "Así, se podría creer que la menor inclinacion que se podría dar á un canal, para que la velocidad fuese perceptible en él, sería $\frac{1}{500000}$, duplicando la precedente, lo que vendría á ser aproximadamente $\frac{1}{6}$ de línea por 100 toesas. Se ve por esto el crédito que merecen los principios en virtud de

los cuales algunos Hidráulicos han fijado la inclinacion de que hablamos, en $\frac{1}{7200}$ ó en una pulgada por 100 toesas y aun mas; si nuestra teoría no les obliga á mudar de opinion, ellos no podrán ménos de ceder á la evidencia de nuestros esperimentos, en los cuales nosotros nos hemos asegurado de que el agua tenía 6 pulgadas de velocidad en nuestro canal facticio, fijado en una inclinacion de $\frac{1}{9288}$; 7 pulgadas de velocidad en un canal de desecamiento, cerca de Condé, cuya inclinacion era de $\frac{1}{27000}$; y en fin 10 pulgadas de velocidad en el rio Hayne, con una inclinacion de $\frac{1}{33000}$."

"No se puede raciocinar contra hechos; pero es necesario sin embargo, confesar que es muy difícil el fijar algo de positivo sobre este punto."

98 De estos esperimentos resulta que la *velocidad de las aguas ha sido mayor cuando la inclinacion era menor*; y debiendo verificarse lo contrario, no puede ménos de provenir este error de no haber atendido á las tres circunstancias esenciales, que acabamos de manifestar han desatendido todos los Observadores.

99 Ademas, por las observaciones que yo tengo hechas, tanto dentro de España, como en Francia, Inglaterra y Holanda, la viscosidad del agua debe variar tambien, en mi concepto, por la naturaleza del manantial que la produce ó depósito de donde provenga, y de un modo independiente de la densidad; por lo que sería de desear que los Físicos, Químicos y Matemáticos dirigiesen todos sus conatos para hacer indagaciones sobre este asunto.

100 Por todos estos motivos, y mientras que en España se hacen esperimentos y observaciones sobre tan importante materia, las fórmulas que presentaré en el libro siguiente, contendrán la mayor exactitud de que son susceptibles en el estado actual de la ciencia, pues tomaré una fórmula media entre las de *Mr. Prony* y *Mr. Eytelwein* para cuando el agua corre á cielo descubierto, y dejando indeterminada la fuerza de la gravedad, manifestaré el modo de hacer aplicaciones de ella en cualquier punto del Globo, y presentaré las fórmulas que se deben considerar como dando valores medios para la generalidad del territorio español: procurando esplicarme de modo que se puedan hacer las aplicaciones á la práctica por el mayor número de personas.

LIBRO TERCERO.

Recapitulacion de las fórmulas y reglas generales para determinar el movimiento de las aguas, ya salgan por orificios ó aberturas cualesquiera, de estanques ó de toda especie de depósitos, ya corran libremente á cielo descubierto por canales ó por rios, ya vayan por tubos de conduccion ó encañados: con el modo de distribuirlas en la debida proporcion, y de hacer las aplicaciones á la resolucion práctica de todo género de cuestiones, que sobre el movimiento de las aguas puedan ofrecerse, para atender á los usos económicos de los pueblos, á las necesidades de la Agricultura, y á proporcionar motor á las máquinas en los diferentes ramos de Industria.

CAPÍTULO PRIMERO.

Determinacion de la fuerza centrífuga y de la fuerza de la gravedad en cualquier parage del Globo.

1 Los cuerpos en general, segun he manifestado en la Introduccion de mi *Tratado elemental de Matemáticas*, se pueden hallar en tres estados diferentes: en su estado de *solidez*, que es cuando sus moléculas ó partecillas tienen tanta adhesion entre sí, que con dificultad se separan, y agarradas por una parte se vienen con ella las demas; en su estado de *liquidez*, que es cuando despues de adquirido cierto grado de calor, tienen tan poca adhesion entre sí, que se separan las unas de las otras, si no se las contiene en vasijas; y finalmente, adquiriendo mayor grado de calor, llegan á tener ménos

adhesion, de tal manera que si las vasijas donde están, no se hallan tapadas ó comprimidas por otros cuerpos, se difunden por la atmósfera: un ejemplo bien sensible nos ofrece el agua en sus tres estados.

En efecto, nosotros podemos tomar con nuestros dedos un pedazo de *nieve*, un pedazo de *hielo*, ó un *granizo*; y por pequeño que sea el parage del contacto, observarémos que toda la masa se viene juntamente con la parte á que aplicamos nuestros dedos; no sucede lo mismo cuando aquella porcion de nieve; hielo ó granizo, se halla derretida ó fundida, que es lo que propiamente se llama *agua*; pues al tratar de aplicar los mismos dedos no viene mas porcion de agua que una pequeña cantidad que los moja; y quedaría adherida menor porcion á los mismos dedos, si los aplicásemos á una masa de vapor acuoso.

El tránsito del agua de uno de estos estados á los otros dos, se está verificando contínuamente en la naturaleza; y para convencernos de ello, bastará observar, que si colocamos un pedazo de nieve ó hielo, ó una cantidad de granizo en una vasija cualquiera dentro de nuestras habitaciones, notarémos, que al cabo de cierto tiempo se derriten y se convierten en agua; la cual permanecerá en la misma vasija, formando por la parte superior una superficie que se caracteriza con el nombre de *superficie horizontal*, y que viene á ser como la superficie de una porcion de esfera, cuyo centro estuviese en el de la Tierra. Si se deja esta misma cantidad de agua en dicha vasija, se notará que cada dia va disminuyendo, aunque nadie la toque, y que al cabo de cierto tiempo, llega á desaparecer enteramente; lo cual proviene de que el agua se conviente en *vapor*, que siendo específicamente ménos pesado que el aire, se estiende por la atmósfera. Este fenómeno se presenta con mucha frecuencia á nuestra consideracion; pues aquella especie de nube, que se ve salir de las vasijas de nuestras cocinas, no es mas que el agua convertida en vapor por el calor de los fogones ú hornillas; y si aparecen visibles, es porque una cierta parte del vapor al salir, se vuelve á condensar, y turba la trasparencia del aire. Si tapamos la vasija en que está hirviendo el agua, se observa en la cubierta, que se cubre materialmente de agua en forma de gotas, que permanecen adheridas á la misma tapadera; lo cual proviene de que el agua de la vasija, al hervir, se convierte en vapor; este se eleva hasta que se halla en contacto con la cubierta; y como esta, por la parte esterior, se halla en contacto con la atmósfera, que está mucho mas fria que lo interior de la vasija donde hierve el agua, condensa dicho vapor, y le hace volver

á tomar la forma líquida, quedando pegado á las tapaderas hasta que se evapora otra vez, ó haciéndose mayores las gotas, escede su peso á la fuerza de adhesion que tienen entre sí las partes del agua; y no pudiendo sostenerse, caen otra vez al fondo.

Si sobre un plato colocamos un *granizo*, de los que caen durante las tempestades, echarémos de ver, que solo tocará al plato en un punto; y á poco que se levante el plato, empieza á resbalar el granizo á lo largo de él, en virtud de la fuerza de la gravedad, como lo haría cualquier otro cuerpo sobre un plano inclinado. Si el mismo granizo le dejamos en el plato, notarémos que, al cabo de cierto tiempo, se funde ó derrite y se aplasta; de modo que la parte que está en contacto con el plato es muchísimo mayor que ántes; y si el plato se empieza á levantar por el mismo lado, aunque la fuerza de la gravedad y la cantidad de materia que formaba ántes el granizo, y que ahora está convertida en agua es la misma, sin embargo, no principiará á descender el agua por el plato, sinó cuando éste se haya inclinado mas, que cuando aquella cantidad de agua estaba congelada en granizo; y aun cuando principie á moverse, lo hace ménos rápidamente que el granizo, y no toda llega á salir del plato, y acaso si este es suficientemente grande, ó la cantidad de agua es pequeña, llega un instante en que deja de correr, y para que se verifique otra vez el movimiento, se necesita inclinar mas el plato, y á veces resulta que, aunque este se ponga verticalmente, y aun se coloque boca á bajo, no salga la mas mínima gota de agua del plato, á pesar, de que, repetimos, la cantidad de materia sea la misma en el granizo que en la gota de agua que éste produjo, y á pesar tambien de que la fuerza de la gravedad es la misma, y de que tampoco varía el plato.

Esto proviene de que, pasando el granizo al estado líquido, y convirtiéndose en agua, las moléculas ó partecillas materiales han perdido una grandísima parte de la adhesion, que tenían entre sí; pero no la han llegado á perder enteramente, y el peso de cada partícula ó molécula no es suficiente para vencer la fuerza, aunque pequeña, con que dichas partes se conservan adheridas, que se caracteriza con el nombre de *viscosidad*, ni la resistencia que les opone el aire, y el rozamiento con el plato. De manera, que para determinar las leyes del movimiento del agua, así como las de cualquier otro líquido, es necesario tener en consideracion *la fuerza de la gravedad* y la que producen la *viscosidad*, el *rozamiento* y la *adherencia* á las partes de los vasos &c. De todas estas fuerzas *la gravedad es la única que influye efectivamente en el movimiento*; *pues* todas las

demas, cooperan, no á que este se verifique, sinó á retardarle y aun á destruirle enteramente. Por manera, que el movimiento de las aguas, así como el de los otros líquidos y aun el de los fluidos, solo se puede verificar cuando la fuerza que le comunica la gravedad esceda á todas las otras fuerzas que cooperan á impedir, retardar ó destruir el impulso que la gravedad produce, y que por lo mismo se llaman *fuerzas retardatrices*. Y siendo la gravedad la sola fuerza que influye en el movimiento del agua, no deja de causar admiracion el que todos los Autores hayan prescindido hasta ahora de considerar sus variaciones, y aun el que algunos la hayan tomado con inexactitud, segun indicamos (lib. 2°......90): y como darémos á conocer (§§ 12 al 29 del presente) con un mismo ejemplo que aplicarémos á diversas localidades del Globo, que la variacion de la fuerza de la gravedad, influye de un modo muy sensible en el movimiento de las aguas. Mas enseñarémos primero á determinar *dicha fuerza* en un parage cualquiera; y como una de las circunstancias que para esto se deben tener en consideracion es la *fuerza centrífuga*, que tambien es variable, principiarémos por dar á conocer el método para determinarla.

El resolver estas dos cuestiones ha estado reservado hasta ahora para los tratados mas sublimes de Astronomía y de Mecánica; pero, atendida su importancia, yo inserté su resolucion (§§ 162 nota y 426 Mec.), de modo que estuviese á los alcances de cualquiera que estudiase elementalmente las Matemáticas; y deseando ahora hacer accesible la resolucion de dichas cuestiones, aun á los que solo poseen los conocimientos de mi Aritmética de Niños, voy á ocuparme de este importante asunto, á cuyo efecto he calculado la siguiente

Tabla auxiliar para encontrar la fuerza centrífuga en cualquier parte del Globo Terrestre.

Grados de latitud.	Corresponde al cuadrado del coseno de la latitud, suponiendo el radio igual con 10000 y tomando solamente los guarismos desde el cuarto inclusive á la izquierda en adelante.	Diferencias.	Grados de latitud.	Corresponde al cuadrado del coseno de la latitud, suponiendo el radio igual con 10000 y tomando solamente los guarismos desde el cuarto inclusive á la izquierda en adelante.	Diferencias.	Grados de latitud.	Corresponde al cuadrado del coseno de la latitud, suponiendo el radio igual con 10000 y tomando solamente los guarismos desde el cuarto inclusive á la izquierda en adelante.	Diferencias.
0	10000							
1	9997	3	31	7347	153	61	2350	150
2	9988	9	32	7192	155	62	2204	146
3	9973	15	33	7034	158	63	2061	143
4	9951	22	34	6873	161	64	1922	139
5	9924	27	35	6710	163	65	1786	136
6	9891	33	36	6545	165	66	1654	132
7	9851	40	37	6378	167	67	1527	127
8	9806	45	38	6210	168	68	1403	124
9	9755	51	39	6040	170	69	1284	119
10	9698	57	40	5868	172	70	1170	114
11	9636	62	41	5696	172	71	1060	110
12	9568	68	42	5523	173	72	955	105
13	9494	74	43	5349	174	73	855	100
14	9415	79	44	5174	175	74	760	95
15	9330	85	45	5000	174	75	670	90
16	9240	90	46	4826	174	76	585	85
17	9145	95	47	4651	175	77	506	79
18	9045	100	48	4477	174	78	432	74
19	8940	105	49	4304	173	79	364	68
20	8830	110	50	4132	172	80	302	62
21	8716	114	51	3960	172	81	245	57
22	8597	119	52	3790	170	82	194	51
23	8473	124	53	3622	168	83	119	45
24	8346	127	34	3455	167	84	109	40
25	8214	132	55	3290	165	85	76	33
26	8078	136	56	3127	163	86	49	27
27	7939	139	57	2966	161	87	27	22
28	7769	143	58	2808	158	88	12	15
29	7650	146	59	2653	155	89	3	9
30	5700	150	60	2500	153	90	0	3

2 Por medio de ella, podemos resolver la siguiente

Cuestion. Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la fuerza de la gravedad en un parage cualquiera del Globo, en que se conozca su latitud y altura sobre el nivel del mar *.

* La regla práctica, que vamos á dar, está sacada de la fórmula (§ 426 Mec.): reduciendo á un solo número la parte constante $\frac{4\pi^2}{T^2}$, que resulta ser 0,00000000532, tomando para R su valor en pies españoles, que es

Resolucion. 1.° Búsquese en la tabla auxiliar el valor que corresponde en frente del número exacto de grados que contenga la latitud.

2.° Fórmese despues una proporcion ó regla de tres, que diga; 60 minutos *es al* número de minutos y fraccion decimal de minuto que resulte de convertir en ella los segundos que pueda haber, *como* el número que en la tabla auxiliar se halla en la columna de las diferencias, entre el número de grados exactos, que contiene la latitud y el mismo número aumentado en una unidad, *es á* un cuarto término, que se hallará en virtud de lo espuesto (§ 250 de la Aritmética de Niños) *.

3.° Lo que resulte para este cuarto término se restará del número que se tomó primero en la tabla auxiliar.

4.° La resta que se obtenga se multiplicará por el número constante 532.

5.° El producto que resulte, se volverá á multiplicar por la suma del número constante 22847748 con el número de pies que el parage se halla mas elevado que el nivel del mar.

6.° En el número que resulte, sepárense de derecha á izquierda con la coma quince guarismos decimales, supliendo con ceros entre los guarismos significativos y la coma, los lugares que puedan faltar, para que desde la coma hasta el último guarismo de la derecha haya exactamente quince guarismos decimales; y el resultado espresará en fraccion decimal de pie español lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en el parage que se buscaba; en cuya fraccion se tomarán los cuatro guarismos decimales que están á la derecha de la coma, desechando los demas, ya por no ser necesaria mayor aproximacion, y ya porque el quinto guarismo podrá no ser de todo punto exacto, á causa de que la tabla auxiliar la hemos calculado para que suministre solo cuatro guarismos exactos; pues que las unidades en el quinto lugar vienen á espresar milésimas partes de línea, que en ninguna cuestion de las que ocurren por lo general en la práctica puede tener influjo, ni aun se podría apreciar

---

22847748; y los valores de la tabla auxiliar espresan el cuadrado del coseno de la latitud, tomando solo cuatro guarismos decimales; pero en la tabla se ponen como enteros, para mayor sencillez y claridad; y se hace despues la compensacion, diciendo que se separen quince guarismos en el resultado final, á saber, once por el factor 0,00000000532, y cuatro por el cuadrado del coseno.

* Aunque la fuerza centrífuga no es proporcional á los grados de latitud, sin embargo, esta proporcion es exacta en los guarismos decimales que se aprecian.

de modo que no se corriese el riesgo de cometer mayor equivocacion.

3 Para manifestar el uso de esta importante regla, nos propondrémos resolver algunos ejemplos, que elegirémos de aquellos que nos sean útiles para lo sucesivo.

Primer Ejemplo. Propongámonos hallar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la fuerza de la gravedad en *Madrid*, cuya latitud es 40° y 25′; y su altura sobre el nivel del mar es 2394 pies en virtud de la (tabla § 46 lib. 1.°) por mi medida.

Res. 1.° Busco en la tabla auxiliar el valor que corresponde en frente del número exacto de grados que contiene la latitud, que en este caso son 40°, y hallo 5868.

2.° Formo la proporcion siguiente, 60 minutos: 25 minutos (porque aqui no hay segundos):: 172, número que se halla en la tabla auxiliar en la columna de las diferencias entre 40° y 41°: (al cuarto término que se busca).

Para hallarle, multiplico los dos términos medios 25 y 172; lo que da por producto 4300; y dividiendo este por el primer término 60, resulta por cuarto término buscado 71,66; por lo que, en virtud de lo espuesto (§ 184 Aritmética de Niños) tomaré 72.

3.° Resto el 72 del 5868, que tomé primero en la tabla, y hallo 5796.

4.° Multiplico este número 5796, por el número constante 532; y hallo 3083472.

5.° Multiplico este producto por el número constante 22847748 aumentado en 2394 pies (altura de Madrid sobre el nivel del mar) esto es, multiplico por 22850142, y obtengo 70457773053024.

6.° Ahora separo de derecha á izquierda con la coma, quince guarismos decimales; y como en el número solo hay catorce, suplo el que falta poniendo un cero entre la coma y los guarismos significativos; y hallo por último 0,070457773053024; de los que tomo los cuatro primeros á la derecha de la coma y obtengo 0,0704 de pie español, que espresa lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en Madrid atendiendo á su latitud y á su altura sobre el nivel del mar *.

---

* Si comparamos este resultado con el obtenido (§ 426 Mec.) que es 0,070431 pies españoles, se halla, que convienen en tener los cuatro primeros guarismos decimales exactos; y solo se diferencian en dos unidades del quinto lugar decimal, que no equivalen á tres milésimas partes de línea española; y como en el espresado parage la hemos determinado con toda estension y exactitud, la conformidad que hallamos en los resultados de ambos métodos, nos hace inferir la seguridad con que pode-

2.° *Ejemplo.* Hallar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en *Búrgos*, cuya latitud es 42° 20′ y 59″, y su altura sobre el nivel del mar segun la (tabla § 46 lib. 1.°) es 3147 pies españoles.

1.° Busco en la tabla auxiliar el número que corresponde á 42° y hallo ser 5523.

2.° Formo la proporcion, 60 minutos : 20,983 (número de minutos y fraccion decimal de minuto, procedente de trasformar los 59 segundos que hay en la latitud de Búrgos) :: 174 (que se halla en la tabla entre 42° y 43° en la columna de las diferencias) : al cuarto término; y hallando este, resulta 60,8, que como el 8, ya vale mas de 5, añado una unidad en vez de él y me resulta 61.

3.° Restando este número, de 5523, hallo 5462.

4.° Multiplico 5462 por el número constante 532; y encuentro 2905784.

5.° Multiplico este producto por el número constante 22847748, despues de añadirle 3147 (altura de Búrgos sobre el nivel del mar) esto es, por 22850895; y encuentro 66399765076680.

6.° Separo en este número con la coma, quince guarismos, de derecha á izquierda; y como no hay mas que catorce, pongo un cero entre la coma y las cifras significativas, lo que da 0,066399765076680; de cuyo número tomo los cuatro primeros guarismos, y digo que 0,0663 de pie es lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en Búrgos.

3.^er^ *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en la laguna de *Peñalara*, que se halla en la cordillera de montañas que hay entre Buitrago y el Real Sitio de San Ildefonso, ó entre los puertos de *Somosierra* y *Navacerrada*, cuya latitud es de 40° y 58′, y la altura sobre el nivel del mar de 7200 pies.

Res. Practicando la regla, hallo ante todas cosas el número 5868. Despues digo 60 minutos : á 58 minutos :: 172 es á 166.

Resto este cuarto término 166 del número que corresponde á 40°, que es 5868; hallo por diferencia 5702; la multiplico por el número constante 532 y saco 3033464; multiplico este número por 22854948, que resulta de añadir al número constante 22847748

---

mos usar de la regla establecida; la que siempre dará exactamente los cuatro primeros guarismos, que son los que, á lo mas, necesitamos y podemos apreciar.

la altura 7200; y separando en el resultado quince guarismos, hallo 0,0693296619798 72 de pie; y tomando los cuatro primeros guarismos, obtengo 0,0693 de pie para la cantidad que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en el espresado parage.

4.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en *Vergara*, cuya latitud es 43° y 10′, y su altura sobre el nivel del mar es segun la (tabla § 46 lib. 1.°) 668 pies.

Practicando la regla, encuentro por último resultado 0,0646 de pie.

5.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad, al nivel del mar en el *punto mas septentrional de España*, que es el *cabo Ortegal*, ó el de *Bares*, poco distante de él, y cuya latitud se puede reputar en 43° y 55′.

Practicando la regla, obtengo por último 0,0630 de pie.

6.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en *Manzanares* de la Mancha, cuya altura sobre el nivel del mar es por la (tabla § 46 lib. 1.°) 2319 pies, y cuya latitud se puede reputar en 39°.

Practicando la regla, obtengo por último 0,0734 de pie.

7.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en *Valencia*, cuya latitud es 39° 28′ y 45″, y la altura de la plaza de la catedral sobre el nivel del mar resulta, por término medio en la (tabla § 46 lib. 1.°), de 110 pies españoles; y hallo 0,0724 de pie.

8.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en el punto mas alto de nuestra península, que es el pico de *Mulhassem ó Muley-hasem* en la Sierra Nevada de Granada, que segun la (tabla § 46 lib. 1.°) está 12762 pies mas alto que el nivel del mar, y cuya latitud se puede graduar en 35° y 10′. Hallarla tambien para la misma latitud, y á la altura donde principian las nieves perpetuas en la misma Sierra, que es 9915 pies; y tambien á la misma latitud y á la altura de la Sierra de Gádor, que viene á ser parte de la misma Sierra Nevada, y que por la (tabla § 46 lib. 1.°) se halla 7200 pies sobre el nivel del mar.

Consideremos sucesivamente cada uno de los tres casos que comprende el problema.

Para el pico de *Mulhassem*, se halla, practicando la regla y tomando los cinco primeros guarismos, que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en el espresado parage en 0,08127 de pie *.

* Apreciamos aquí cinco guarismos para que se note la diferencia;

Para el límite inferior de las nieves perpétuas, se halla 0,08126 de pie.

Para la altura de la Sierra de *Gádor* se halla que la fuerza centrífuga es 0,08125 de pie.

9.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en *Córdoba*, cuya latitud es 37° y 50′, y cuya altura sobre el nivel del mar es 846 pies; hallo 0,0758 de pie.

10.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad al nivel del mar en el punto mas meridional de España, que se halla en las cercanías de *Tarifa*, á los 36° y 3′. Practicando la regla, encuentro 0,0794 de pie.

11.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en el punto mas alto del pico de *Teide* en la Isla de Tenerife, cuya latitud es 28° y 28′, y cuya altura sobre el nivel del mar, por término medio segun la (tabla § 46 lib. 1.°) es 15486 pies. Determinarla tambien á la altura inferior de las nieves perpétuas, que la podrémos suponer allí á 11000 pies sobre el nivel del mar; y determinarla tambien para la misma latitud y al nivel del mar.

Practicando la regla, se halla que la fuerza centrífuga en el punto mas alto del pico de *Teide* es 0,09399 de pie *.

Para el límite inferior de las nieves perpétuas, se halla 0,09397 de pie.

Y para la misma latitud y al nivel del mar, se encuentra 0,09393 de pie.

12.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en la *Habana*, cuya latitud es 23° y 12′, y está al nivel del mar.

Practicando la regla, encuentro que la fuerza centrífuga en dicho punto es 0,1026 de pie.

13.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en *Manila*, cuya latitud es 14° 36′ y 8″, y se halla al nivel del mar.

Por lo dicho anteriormente, hallo 0,1138 de pie.

14.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga dismi-

---

pues los tres casos convienen en los cuatro primeros guarismos; y aunque el quinto no se puede reputar de todo punto exacto, no obstante, como los tres casos deben participar de la misma inexactitud, la diferencia debe hacerse notar de un modo análogo.

* Tomamos cinco guarismos, por la misma razon que dimos al hacer igual determinacion para la Sierra Nevada de Granada.

nuye á la de la gravedad en el punto mas alto de la América, que es el *Chimbórazo*, que está (§ 507 Mec.) 21092 pies sobre el nivel del mar, y cuya latitud es 1° y 45′. Determinar lo mismo, á la altura del límite inferior de las nieves perpétuas en el ecuador, que es 17227 pies; y tambien para la ciudad de Quito, cuya latitud es 13 minutos, y su altura 10440 pies sobre el nivel del mar; y hallarla tambien al nivel del mismo mar en el ecuador.

Para el punto mas alto del *Chimbórazo*, resulta 0,12154 de pie *.

Para determinar lo que corresponde al límite inferior de las nieves perpétuas en el ecuador, observo que siendo cero la latitud, no hay que formar la proporcion que prescribe la regla. Por consiguiente, multiplicaré el mismo 10000 de la tabla por 532 y hallo 5320000; multiplico este número por 22847748 aumentado en 17227 que es 22864975; y tomando los cinco primeros guarismos decimales del producto, hallo 0,12164 de pie.

Para hallar lo que corresponde á Quito, observo que como la latitud es 0° 13′, formo la proporcion 60 : 13 :: 3 : al cuarto término, que es 0,65, y puedo reputar en una unidad, que restada de 10000, da 9999; cuyo número multiplicado por 532, y lo que resulte por 22858188, que proviene de añadir al número 22847748, la altura de Quito sobre el nivel del mar, que es 10440 pies, y tomando cinco de las quince cifras que resultan, obtengo por último para la fuerza centrífuga en Quito 0,12159 de pie.

Para hallarla en el mismo ecuador, al nivel del mar, no tengo mas que multiplicar el número 10000 de la tabla por 532, y lo que me resulte por 22847748; y separando quince guarismos del producto y reservando los cinco primeros obtengo 0,12155 de pie.

15.° *Ejemplo.* Determinar lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad en el punto mas alto del mundo, que hasta ahora se conoce, y es uno de los picos de los montes de *Himâlaya*, que segun la nota del (§ 578 II C) se halla 28167 pies españoles mas alto que el nivel del mar, y *cuya latitud es* 30° 22′ *y* 19″.

Practicando la regla, encuentro 0,0894 de pie.

4 Entendido esto, pasemos á la determinacion de la fuerza de la gravedad en un parage cualquiera; para lo cual necesitamos las dos tablas auxiliares que siguen.

---

* Tomo aquí cinco guarismos por la razon dada al hacer igual determinacion en la Sierra Nevada de Granada.

Primera Tabla auxiliar para encontrar la fuerza de la gravedad. Contiene la fuerza de la gravedad para cada grado de latitud, suponiendo que el parage se halla al nivel del mar.

Grados de latitud.	Fuerza de la gravedad espresada en pies españoles.	Diferencias para cada grado.
0	35,0900	
1	35,0901	1
2	35,0903	2
3	35,0906	3
4	35,0910	4
5	35,0915	5
6	35,0922	7
7	35,0930	8
8	35,0939	9
9	35,0949	10
10	35,0960	11
11	35,0973	13
12	35,0986	13
13	35,1001	15
14	35,1017	16
15	35,1034	17
16	35,1052	18
17	35,1071	19
18	35,1091	20
19	35,1112	21
20	35,1134	22
21	35,1157	23
22	35,1180	23
23	35,1205	25
24	35,1231	26
25	35,1257	26
26	35,1284	27
27	35,1312	28
28	35,1340	28
29	35,1370	30
30	35,1400	30

Grados de latitud.	Fuerza de la gravedad espresada en pies españoles.	Diferencias para cada grado.
31	35,1430	30
32	35,1461	31
33	35,1493	32
34	35,1525	32
35	35,1557	32
36	35,1590	33
37	35,1623	33
38	35,1657	34
39	35,1691	34
40	35,1725	34
41	35,1760	35
42	35,1794	34
43	35,1829	35
44	35,1864	35
45	35,1899	35
46	35,1933	34
47	35,1968	35
48	35,2003	35
49	35,2038	35
50	35,2072	34
51	35,2106	34
52	35,2140	34
53	35,2174	34
54	35,2207	33
55	35,2240	33
56	35,2273	33
57	35,2305	32
58	35,2336	31
59	35,2367	31
60	35,2398	31

Grados de latitud.	Fuerza de la gravedad espresada en pies españoles.	Diferencias para cada grado.
61	35,2428	30
62	35,2457	29
63	35,2485	28
64	35,2513	28
65	35,2540	27
66	35,2567	27
67	35,2592	25
68	35,2617	25
69	35,2641	24
70	35,2663	22
71	35,2685	22
72	35,2706	21
73	35,2726	20
74	35,2745	19
75	35,2763	18
76	35,2780	17
77	35,2796	16
78	35,2811	15
79	35,2824	13
80	35,2837	13
81	35,2848	11
82	35,2858	10
83	35,2867	9
84	35,2875	8
85	35,2882	7
86	35,2887	5
87	35,2891	4
88	35,2894	3
89	35,2896	2
90	35,2897	1

Segunda tabla auxiliar para encontrar la fuerza de la gravedad. Contiene el decremento de la gravedad á diferentes alturas sobre el nivel del mar. Tomando por unidad la que tiene en dicho nivel del mar, se tendrá que

á	La fuerza de la gravedad será	á	La fuerza de la gravedad será
0 pies.	1,000000	4500 pies.	0,999606
150. . . .	0,999987	4650. . . .	593
300. . . .	74	4800. . . .	580
450. . . .	61	4950. . . .	567
600. . . .	47	5100. . . .	554
750. . . .	34	5250. . . .	541
900. . . .	21	5400. . . .	527
1050. . . .	08	5550. . . .	514
1200. . . .	0,999895	5700. . . .	501
1350. . . .	882	5850. . . .	488
1500. . . .	869	6000. . . .	475
1650. . . .	856	6150. . . .	462
1800. . . .	842	6300. . . .	449
1950. . . .	829	6450. . . .	435
2100. . . .	816	6600. . . .	422
2250. . . .	803	6750. . . .	409
2400. . . .	790	6900. . . .	396
2550. . . .	777	7050. . . .	383
2700. . . .	764	7200. . . .	370
2850. . . .	751	7350. . . .	357
3000. . . .	737	7500. . . .	343
3150. . . .	724	7650. . . .	330
3300. . . .	711	7800. . . .	317
3450. . . .	698	7950. . . .	304
3600. . . .	685	8100. . . .	291
3750. . . .	672	8250. . . .	278
3900. . . .	659	8400. . . .	265
4050. . . .	645	8550. . . .	252
4200. . . .	632	8700. . . .	238
4350. . . .	619	8850. . . .	225

Sigue la tabla.

9000 pies.	0,999212	10950 pies.	0,999041
9150. . . .	199	11100. . . .	028
9300. . . .	186	11250. . . .	015
9450. . . .	173	11400. . . .	002
9600. . . .	160	11550. . . .	0,998982
9750. . . .	147	11700. . . .	8976
9900. . . .	133	11850. . . .	8963
10050. . . .	120	12000. . . .	8950
10200. . . .	107	12762. . . .	8883
10350. . . .	094	15486. . . .	8644
10500. . . .	081	17227. . . .	5476
10650. . . .	068	21092. . . .	4461
10800. . . .	055	28152. . . .	7536

5 Con estas, y con lo manifestado anteriormente acerca de la fuerza centrífuga, estamos en disposicion de resolver con toda generalidad la siguiente

Cuestion. Hallar la fuerza de la gravedad para cualquier punto del Globo, respecto del cual se conozca la latitud y altura sobre el nivel del mar.

Res. Para resolverla, debemos atender á tres circunstancias, á saber, 1.ª á la latitud; 2.ª á la altura del parage sobre el nivel del mar; y 3.ª á la fuerza centrífuga.

1.ª Para hallar la fuerza de la gravedad, atendiendo á la latitud, no hay mas que buscar en la primera tabla auxiliar, que acabamos de poner para la gravedad, el número de pies españoles que se halla en frente del número de grados, de que se compone la latitud, y despues se formará esta proporcion:

60 minutos *es al* número de minutos y fraccion decimal de minuto, reduciendo á esta los segundos que pueda contener la latitud, ademas de los grados y minutos, *como* la diferencia que se halla en dicha tabla en la columna de las diferencias entre el número exacto de grados que contiene la latitud, y el mismo número aumentado con una unidad, *es al* cuarto término, que resulte; el cual se hallará (§ 250 Ar. de N.). En este cuarto término se apreciarán solamente los enteros que resulten; y se añadirán á los últimos guarismos decimales del número tomado primitivamente de la tabla; y la suma representará la fuerza de la gravedad en dicho parage, suponiendo que esté al nivel del mar.

2.ª Búsquese en la segunda tabla auxiliar de la gravedad el número que se halle en frente del número de pies españoles que mas se aproxime á la altura del parage sobre el nivel del mar; por este número se deberá multiplicar la fuerza de la gravedad, que acabamos de encontrar, y tomarémos en este resultado cuatro guarismos decimales, como salgan sin añadir ninguna unidad, aun cuando el otro que siga sea mayor que 5.

3.ª De este número, que acabamos de hallar, se restará el valor de lo que la fuerza centrífuga disminuye á la de la gravedad, determinado por la cuestion anterior; y la resta espresará la fuerza de la gravedad que se pedía, teniendo en consideracion todas las circunstancias.

1.er *Ejemplo.* Propongámonos ante todas cosas *determinar la fuerza de la gravedad en Madrid*, cuya latitud es 40° y 25′ y su altura sobre el nivel del mar es 2394 pies.

Hallo primero la fuerza de la gravedad, atendiendo á la latitud; para lo cual busco en la primera tabla el número que se halla en frente del 40°, que es 35,1725; busco en la columna de las diferencias de la misma tabla el número que corresponde á 40° y 41°, que es 35; y formo la siguiente proporcion:

60 minutos : 25 minutos :: 35 (diferencia hallada en la tabla en la columna de las diferencias correspondiente á la que hay entre los que pertenecen á 40° y 41°): al cuarto término, que resulta ser 14; que añado á las últimas cifras decimales del número 35,1725 que corresponde á 40°; lo que me da 35,1739 para la fuerza de la gravedad en Madrid, suponiendo, que dicha capital se halla al nivel del mar *.

Para determinar la que corresponde atendiendo á la altura sobre dicho nivel del mar, busco en la segunda tabla el número que se halla en frente del número de pies españoles que mas se aproxima á la altura del parage sobre el nivel del mar, el cual es 0,999790, que se halla en frente de 2400 pies, á que mas se aproximan los 2394 dados; multiplico el número 0,999790 por la fuerza de la gravedad hallada anteriormente, que es 35,1739, y encuentro que la

* Este resultado es el mismo que se ha obtenido por la fórmula mas exacta que se conoce en la nota del § 162 de mi Mecánica; y el mismo que en el § 113 de mi Compendio de Mecánica práctica, donde la deduje de la fórmula general de la longitud del péndulo simple. Por lo que debemos tener una completa seguridad en que por este método que aquí proponemos, á los alcances de todo el mundo, se obtienen los resultados con la misma exactitud que por los procedimientos mas sublimes.

fuerza de la gravedad, en Madrid atendiendo á la latitud y altura sobre el nivel del mar es 35,1665 pies españoles.

Por último, resto de esta cantidad el valor que en dicho parage corresponde á la fuerza centrífuga, que es (cuest. ant. ej. 1.°) 0,0704 y encuentro 35,0961: tomando solamente cuatro guarismos decimales, que son los que bastan en casi todas las aplicaciones prácticas *.

Como el tercer guarismo decimal es un 6, que es ya mayor que 5, si queremos tomar un valor aproximado mas sencillo, en vez del 6, deberémos añadir una unidad al 9, lo cual nos dará una unidad en el primer guarismo decimal; y se obtendrá por resultado aproximado para la fuerza de la gravedad en Madrid 35,1 pies españoles, del cual se puede usar en las aplicaciones ordinarias, que ocurren generalmente en la práctica. Sin embargo, como esta obra se halla destinada esclusivamente á presentar resultados importantes bajo todos aspectos, usarémos siempre del valor 35,0961 pies españoles. En los demas casos, el lector elegirá la aproximacion que la naturaleza de la cuestion exija.

2.° *Ejemplo. Hallar la fuerza de la gravedad en Búrgos*, cuya latitud es 42° 20′ y 59″ y su altura sobre el nivel del mar es 3147 pies.

Busco primero el número que en la primera tabla auxiliar de la gravedad está en frente de 42° que es 35,1794; y formo la proporcion 60:20,983 (que resulta de convertir en quebrado decimal de minuto, los 59 segundos que contiene la latitud) :: 35 (diferencia que hallo en dicha tabla entre los números que corresponden á 42° y 43°): al cuarto término, que hallo ser 12; el cual añadido al número 35,1794, encuentro 35,1806.

Busco ahora en la segunda tabla el número de pies que mas se aproxima á los 3147, y veo que le corresponde 0,999724; por lo que multiplicaré por dicho número la fuerza de la gravedad hallada anteriormente, que es 35,1806, y encuentro tomando cuatro guarismos 35,1708.

---

* Este resultado final difiere algo del obtenido en la mencionada nota del § 162 de mi Mecánica, que es 35,0999. La razon es que al formar la tabla del § 58 de mi Compendio de Mecánica práctica se cometió una equivocacion material, tomando el diámetro de la tierra por su radio. El error que por ella resulta no es de consideracion, por hallarse el radio en el numerador y denominador de un quebrado; y así es que asciende solo á 0,0038; pero no obstante, para cuando es necesaria mucha exactitud, se debe tener en consideracion, pues ya equivale á mas de media línea española. Por cuyo motivo hemos hecho de nuevo todos estos cálculos.

De este número resto el valor que corresponde á la fuerza centrífuga en dicho parage, que es (cuest. ant. 2.° ej.) 0,0663, y hallo 35,1035 pies para el valor de la fuerza de la gravedad en *Búrgos.*

3.^er^ *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en la laguna de Peñalara*, que se halla entre Buitrago y el Real Sitio de San Ildefonso en la cordillera de montañas que hay entre el puerto de Somosierra y el de Navacerrada, cuya latitud es 40° y 58′ y la altura sobre el nivel del mar 7200 pies.

Hallo por último 35,0843 pies.

4.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en Vergara*, cuya latitud es 43° y 10′, y su altura sobre el nivel del mar segun la tabla (§ 46 lib. 1.°) 668 pies. Resulta 35,1169 pies.

5.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad al nivel del mar en el punto mas septentrional de España, que es el cabo Ortegal ó el de Báres*, poco distante de él, y cuya latitud es 43° y 55′.

Practicando la regla dada, hallo para la fuerza de la gravedad, atendiendo á la latitud 35,1861; y como la altura es cero, no debo practicar la segunda parte de la regla; y solo me falta restar de este número el valor de la fuerza centrífuga, que es en dicho punto (§. 3 ej. 5.°) 0,0630; y hallo por último que la fuerza de la gravedad en el punto mas septentrional de España, y al nivel del mar es 35,1231 pies.

6.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en Manzanares de la Mancha*, cuya altura sobre el nivel del mar es por la tabla (§ 46 lib. 1.°) 2319 pies, y cuya latitud se puede graduar en 39°. Resulta 35,0887 pies.

7.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en Valencia*, cuya latitud es 39° 28′ y 45″, y la altura de la plaza de la Catedral sobre el nivel del mar resulta por término medio en la tabla (46 lib. 1.°) de 110 pies españoles. Hallo 35,0978 pies.

8.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en el punto mas alto de nuestra península, que es el pico de Mulhassem en la Sierra Nevada de Granada*, que está 12762 pies mas alto que el nivel del mar, y cuya latitud se puede graduar en 35° y 10′.

En este ejemplo hallo, atendiendo primero á la latitud 35,1562; atendiendo despues á la altura sobre el nivel del mar, encuentro 35,11693 habiendo tomado cinco cifras por la razon dada al determinar la fuerza centrífuga en el mismo parage; y hallo por último 35,03566 pies.

Si quisiéramos hallarla para la misma latitud y *á la altura donde principian las nieves perpétuas en la misma sierra*, que es 9915 pies, encontraría 35,04445 pies.

Y si la quisiéramos á la misma latitud, y á *la altura de la Sierra de Gádor*, que se halla 7800 pies sobre el nivel del mar, se encontraría 35,05093 pies.

9.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en Córdoba, cuya latitud es 37° 50′*, y la altura sobre el nivel del mar 846 pies. Resulta 35,0865 pies.

10.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad al nivel del mar en el punto mas meridional* de España, que se halla en las cercanías de Tarifa á los 36° y 3′ Resulta 35,0797 pies.

11.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en el punto mas alto del pico de Teide en la Isla de Tenerife*, cuya latitud es 28° y 28′, y cuya altura sobre el nivel del mar, por término medio segun la tabla (§ 46 libro 1.°) es 15486 pies.

Hallo 34,99376 pies.

Para el *límite inferior de las nieves perpétuas*, que le podrémos suponer en dicho pico á 10000 pies sobre el nivel del mar, se halla 35,00773 pies.

Si la quisiéramos *al nivel del mar*, en el mismo parage, hallaríamos 35,04147 pies.

12.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en la Habana*, cuya latitud es 23° y 12′ y está al nivel del mar.

Hallo 35,0184 pies.

13.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en Manila*, cuya latitud es 14° 36′ y 8″, y está al nivel del mar.

Hallo 34,9891 pies.

14.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en el punto mas alto del Chimbórazo*, que está (§ 557 Mec.) 21092 pies sobre el nivel del mar, y cuya latitud es 1° y 45′.

Resulta 34,77429 pies.

Si la queremos *á la altura del límite inferior de las nieves perpétuas en el ecuador*, que es á 17227 pies, hallarémos 34,80961 pies.

Para *la ciudad de Quito*, cuya latitud es 13′ y su altura sobre el nivel del mar 10440 pies, hallo 34,93616 pies.

Para *el ecuador al mismo nivel del mar*, encuentro 34,96845 pies.

15.° *Ejemplo. Determinar la fuerza de la gravedad en el punto mas alto del mundo*, que hasta ahora se conoce, y es uno de

los picos de los montes de *Himâlaya*, que segun la nota del (§ 578 II C) se halla 28167 pies españoles mas alto que el nivel del mar, y cuya latitud es 30° 22′ 19″. Hallo 34,9651 pies.

De todo lo cual resulta que el punto del Globo en que la gravedad es menor se halla en lo mas alto del Chimbórazo.

CAPÍTULO II.

Deduccion de las fórmulas y reglas generales para el movimiento del agua ó de cualquier otro fluido, que sale por orificios pequeños en comparacion de las superficies de los vasos ó depósitos que los contienen.

6 *La teoría y la esperiencia* están acordes en que *la velocidad con que el agua ó un fluido ó líquido cualquiera sale de un vaso ó depósito, que permanece constantemente lleno, por un orificio muy pequeño en comparacion de la superficie de la vasija ó depósito en que está contenido, es igual á la velocidad que adquiriría un cuerpo pesado, cayendo de toda la altura del nivel del fluido en el vaso ó depósito sobre el centro del orificio, cualquiera que sea la posicion de su superficie; esto es, ya sea el orificio horizontal, ya vertical ó ya inclinado al horizonte; y cualquiera que pueda ser su figura, esto es, ya sea rectangular, ya cuadrada, ya poligonal, ya circular, con tal que no presente ángulos entrantes.* Y como, si espresamos por h la altura de que cae un cuerpo pesado, y por g la fuerza de la gravedad, en el parage donde se opera, la velocidad que dicho cuerpo habrá tomado al llegar al punto mas bajo, está espresada* por $\sqrt{2g\times h}$, resulta que si la altura de un estanque, de una vasija ó depósito cualquiera, que contenga agua ú otro fluido, sobre el centro de un agugero que haya en el fondo ó en cualquiera de sus lados, la espresamos por h, la fuerza de la gravedad en el parage del estanque, depósito &c. por g, y por v, la velocidad por segundo, con que saldrá el fluido, tendrémos $v=\sqrt{2g\times h}$ (6); la cual traducida en regla, nos dice que: *para encontrar la velocidad con que el agua ó cualquier otro*

* V. §§ 569, 570 y 571 de Mec. ó § 375 II C. ó § 178 de Mec. Prác.

fluido sale por un orificio muy pequeño en comparacion de la superficie del depósito, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por la altura de la superficie del agua en el depósito sobre el centro del orificio; y del producto se estraerá la raiz cuadrada: con lo que se tendrá la velocidad que se pedia.

7 Puesto que conocemos ya la velocidad del agua ó del fluido, al salir por el orificio, y que *por velocidad se entiende el espacio que anda, corre, ó camina un cuerpo en la unidad de tiempo*; que aquí se supone siempre, que es un segundo sexagesimal, esto es, de aquellos que el dia contiene 86164, resulta que en un segundo saldrá por dicho orificio una cantidad de agua ó del fluido que se considera, representada por la superficie del orificio, y cuya altura sea el número de pies que esprese la mencionada velocidad; luego si representamos por k la superficie del orificio, tendrémos, que, en un segundo, saldrá por él un volúmen de agua espresado por $k \times \sqrt{2g \times h}$. Y si suponemos que el agua esté saliendo un número de segundos espresado por t, resultará que en dicho tiempo, saldrá un volúmen de agua espresado por $t \times k \times \sqrt{2g \times h}$. Esta cantidad de agua es lo que se llama por lo regular el *gasto del orificio*, y se espresa por la letra Q; de modo, que, en virtud de lo que acabamos de manifestar se tiene la siguiente ecuacion $Q = t \times k \times \sqrt{2g \times h}$ (7); que es la misma que hemos obtenido en el (§ 572) de la Mecánica, en el (§ 576) del 2.º tomo del Compendio y en el (§ 180) de la Mecánica práctica.

8 Para que esta ecuacion se pueda aplicar sin correccion ni modificacion alguna, en la práctica, es indispensable *que la superficie del depósito sea lo ménos veinte veces mayor que la del orificio, y que este venga á tomar la forma de una especie de embudo ó trozo de pirámide ó cono*, como representa la (fig. 13 lám. 1.ª), á fin de que todos los filetes fluidos salgan con direcciones paralelas entre sí; pues de lo contrario, se necesita hacer una correccion ó modificacion de que hablarémos despues (cap. III).

9 Traduciendo en regla la espresada ecuacion, nos suministra la siguiente para la práctica. *Cuando se necesite determinar la cantidad de agua ó el gasto hecho por un orificio de forma embudada, cuyo tamaño no sea mayor que la vigésima parte de la superficie superior del depósito donde está el agua el cual lo suponemos constantemente lleno, se multiplicará ante todas cosas*

el duplo de la fuerza de la gravedad, en el parage donde se opera, por la alturá de la superficie del agua en el depósito sobre el centro del orificio, que es lo que se llama la carga; de esto se estraerá la raiz cuadrada; lo que resulte se multiplicará por la superficie del orificio; y el producto que se obtenga, se volverá á multiplicar por el número de segundos que esté saliendo el agua. Con lo que se tendrá el gasto pedido.

Ejemplo. Supongamos un depósito de agua, tal como el estanque del Retiro de Madrid, y que se desée determinar la cantidad de este líquido que saldrá en todo un dia por un orificio cuadrado de un pie de superficie que tuviese la forma embudada de la (fig. 13) en el supuesto de que permanezca constantemente lleno por entrarle agua por otro lado y de que la profundidad del estanque fuese de 10 pies.

En este caso, como *la superficie del espresado estanque es mas de cuatrocientas mil veces mayor que la del orificio, esta cuestion se halla comprendida en la fórmula y regla anterior*; y para practicar esta, debo hallar ante todas cosas la fuerza de la gravedad en la localidad que ocupa el mencionado estanque, la cual es (§ 5.º ej. 1.º) 35,0961 pies españoles; y tomando su duplo tendré 70,1922, que multiplicando esto por 10, altura del agua sobre el centro del orificio, y que es lo que hemos dicho se llama la *carga*, tendrémos (§ 181 Ar. de N.) 701,922; de lo cual estraigo la raiz cuadrada (§ 233 Ar. de N.) y saco 26,493811; ahora debo multiplicar este número por la superficie del orificio, que siendo un pie cuadrado, como de multiplicar un número cualquiera por la unidad, resulta el mismo número (73 Ar. de N.) no tendrémos que hacer mas que multiplicar el espresado número 26,493811 por los 86164 segundos, que tiene el dia y saco 2282813; cuyo número espresa que, en dicho tiempo, saldrán *dos millones doscientos ochenta y dos mil ochocientos y trece pies cúbicos de agua.*

10 Si quisiéramos averiguar á cuantos quintales de agua equivalía esta cantidad, observaríamos que por término medio, se puede suponer que el pie cúbico de agua, en virtud de los resultados y tablas del (§ 241 de Mec. Prác.), pesa 47 libras españolas, ó 0,47 de quintal. Luego si el número anterior lo multiplicamos por 0,47 nos resultará que el peso de la espresada cantidad de agua es 1072922 quintales, esto es, *un millon setenta y dos mil novecientos veinte y dos quintales.*

11 Aquí se observa que, desde la primera cuestion relativa al

movimiento de las aguas, nos vemos precisados á valernos del conocimiento de la fuerza de la gravedad. Esta, en los libros escritos en español ántes de la publicacion de mis obras, se ha supuesto que era de unos 30,2 pies, sin espresar muchas veces qué clase de pies eran; y en otras, aunque se decia que eran franceses, no se espresaba con la debida claridad que este valor era en París, y que era variable. Por lo cual, en mi Compendio de Mecánica Práctica (§§ 48 y 49) indiqué algunos de los inconvenientes que de esto se podrían originar, é insistí con mucha firmeza en que se debía poner el mayor esmero y exactitud sobre este particular. Ahora juzgo de la mayor importancia el hacer alguna otra indicacion relativa á las cuestiones hidráulicas; porque no solo se ha cometido el descuido relativo á la gravedad, sinó que al calcular el peso de un volúmen de agua, se ha supuesto que un pie cúbico de este líquido pesa 70 libras; y casi todas las aplicaciones que se ven en los libros españoles, anteriores á mis obras, son en este supuesto, sin advertir que el pie cúbico de agua, que pesa las 70 libras, es el pie cúbico francés; y las libras son tambien francesas; y que esto es en París y no en España, que varía el peso del agua por las diversas circunstancias, que se manifiestan en los parages citados, y por datos que merecen la mayor confianza; pues me los suministró el Señor don Juan Lopez de Peñalver, que es el Sabio Español que mas ha trabajado y con mas acierto en el arreglo de pesas y medidas y otros puntos relativos al adelantamiento de las ciencias, artes é industria, como se puede ver en los útiles resultados que inserta en las adiciones que se hallan en el tomo 4.° de su excelente traduccion de las *Cartas de Leonardo Euler á una Princesa de Alemania.*

12 Mas para dar á conocer que no solo en los libros españoles, se han cometido inexactitudes sobre esta importante materia, juzgamos oportuno, conveniente y necesario, el resolver esta misma cuestion, suponiendo que no influye la variacion de la fuerza de la gravedad, y que pudiera calcularse en Madrid por el mismo valor que le supone *Mr. Eytelwein* que es * el de 362,352 pulgadas del pie de rey francés, que equivalen ** á 35,203191308 pies españoles; duplicando este número se tiene 70,406382616, que multi-

* V. el § XIV de las *Investigaciones* sobre el movimiento de las aguas de Mr. Eytelwein, traducidas al frances por Mr. le Jeune Dirichlet ó el § IV de la coleccion de las cinco tablas de Mr. Prony.

** Para reducir medidas y pesas francesas á españolas pueden consultarse las apreciables tablas que el Señor de Peñalver pone en las adicio-

plicándole por 10, altura del agua en el depósito sobre el orificio, se convierte en 704,06382616; y estrayendo la raiz cuadrada, resulta 26,534201; multiplicando ahora este número por 1, superficie del orificio, resulta el mismo número, y multiplicándole por 86164, segundos que tiene el dia, se saca 2286293 pies cúbicos para el gasto del mencionado orificio; cuyo resultado contiene *tres mil cuatrocientos ochenta* pies cúbicos mas de agua; que equivalen á mas de *mil seiscientos treinta y cinco quintales*; y como nadie podrá decir que esta cantidad no merece tenerse en consideracion, resulta que no es indiferente el hacer el cálculo por una ó por otra fórmula; y verificándose un error de tanta consideracion en un solo dia, se puede venir fácilmente en conocimiento de los graves perjuicios que podrán resultar en una semana, en un mes, en un año, en un siglo, en muchos siglos, &c., &c.

13 En efecto, supongamos que este hubiera sido un ejemplo reducido á la práctica, como ha sucedido en muchas ocasiones análogas. Hecho el cálculo por las fórmulas, que hasta el dia se contienen en los libros, se hubieran debido obtener los 2286293 pies cúbicos que se habrían calculado ó contratado por ser necesarios ó para regar una cantidad determinada de terreno, como el Retiro, Jardin Botánico, &c., ó para abastecer al vecindario de Madrid ó para mover alguna máquina.

Si era con el objeto de regar, faltaba agua cada dia para el regadío de unos cuatro celemines de tierra del partido de Madrid; y como por lo regular se necesita regar de diez en diez dias, en el cultivo mas esmerado de jardin, huertas, prados, &c., resulta que faltaba el regadío á mas de tres fanegas de terreno del partido de Madrid, que equivale á la décima parte de la estension del Real Jardin Botánico. Si era para el vecindario, faltaba el agua necesaria para el abasto de 8895 personas * que equivale á la vigésima parte de la poblacion de Madrid; y esto quería decir que por error en el modo de hacer el cálculo, de cada 20 habitantes faltaba agua para uno; lo cual no es indiferente. Si era para mover alguna máquina, segun la altura á que esta operase, resultaría mas ó ménos influjo. Si se colocase en el Prado hácia el estremo inferior del Salon,

---

nes al tomo 4.º de las Cartas de Leonardo Euler, pág. 247 y siguientes, ó las que yo pongo § 152 del tomo 1.º, parte 1.ª de mi Tratado Elemental de Matemáticas.

* Cada persona consume al dia 0,391209 de pie cúbico español de agua segun mi observacion (pág. 498 del Mercurio de octubre de 1824).

que estará unos 130 pies mas bajo que el citado estanque, resultaría una fuerza motriz equivalente á la que podrían hacer en un dia de trabajo dos caballos y la tercera parte de lo que podría ejercer en un dia otro caballo *, lo cual no es indiferente bajo ningun aspecto.

A algunos podría parecer acaso impertinente el que yo insista de un modo tan enérgico sobre este particular; pero como esta es una de las principales causas, por las cuales fallan y se malogran en nuestra amada España aun los proyectos mas bien premeditados, siempre he sido de opinion de que el mayor bien que se puede hacer á los beneméritos habitantes de este pais, es manifestarles de donde proviene una grandísima parte de los resultados inexactos que se obtienen, á fin de que, evitándolos oportunamente, en vez de recibir perjuicios de tanta consideracion, gocen de las utilidades que les corresponden.

14 Hemos indicado (47 lib. 2.º) que por la tabla de alturas de los varios puntos de la Península, se podría considerar la posicion de Madrid, en general, como una posicion media. No obstante, en todas las fórmulas y reglas que establezcamos, lo harémos en general, dejando indeterminada la fuerza de la gravedad; pero en gran parte de las aplicaciones numéricas que hagamos será respecto de Madrid, porque estos resultados convendrán á la mayoría de los puntos de la España peninsular. Mas con el fin de que esta materia no ofrezca ninguna incertidumbre, voy ahora á manifestar cual es el mayor error que se podría cometer, tanto en la Península, como en los diferentes puntos del Globo, haciendo el cálculo por las fórmulas que yo establezco para Madrid, y por las de los demas Autores, que suponen no influir las variaciones de la fuerza de la gravedad, y que se puede tomar para todo el Globo la de París.

15 El mayor error que se puede cometer por defecto en la Pe-

* En efecto, un caballo español regular ó caballería mayor, de las que se usan en España, trabajando al tiro, puede ejercer en un dia una cantidad de accion, como verémos (núm. 17 de la tabla segunda del § 151 del lib. 5.º), equivalente á elevar 89827 quintales á la altura de un pie, ó es la misma que ejercería un peso de 89827 quintales cayendo de un pie de altura. Y como los 1635,6 quintales, que pesan los 3480 pies cúbicos de agua, se reputa que bajan de una altura de 130 pies, producirán el mismo efecto que $1635,6 \times 130 = 212628$ quintales bajando de un pie. Si dividimos estos 212628 quintales, á que equivale la fuerza motriz de los 3480 pies cúbicos de agua, cayendo de la mencionada altura de 130 pies, por los 89827 quintales, á que equivale el esfuerzo de un caballo español en todo un dia, sacamos $2\frac{1}{3}$ por cociente aproximado; luego resulta que la fuerza motriz que ejerce la mencionada cantidad de agua, equivale á la de *dos caballos*, y la tercera parte de lo que puede ejercer otro caballo, como hemos asegurado en el texto.

nínsula, sería si nosotros hiciéramos aplicacion de las fórmulas correspondientes á la situacion de Madrid, para un parage que, hallándose al nivel del mar, fuese el punto mas septentrional de España, que es el *cabo Ortegal* en Galicia, ó el *cabo de Bares*, que no dista mucho del anterior, y cuya latitud hemos graduado, al hallar la fuerza centrífuga y de la gravedad, en 43° y 55′. En efecto, la fuerza de la gravedad crece (§ 162 Mec.) al paso que aumenta la latitud, y disminuye aumentándose la altura sobre el nivel del mar; luego suponiendo el punto mas septentrional de España y el mas bajo de la superficie terrestre, que es el nivel del mismo mar, tenemos el punto de España en que la gravedad será mayor; y como hemos encontrado (§ 5 ej. 5.°) que la espresada fuerza en dicha localidad es 35,1231 pies, si sustituimos este valor por g en la (ec. 7) y practicamos el cálculo, como lo hemos hecho (9) para Madrid, nos resultará últimamente para el gasto de un orificio hecho en un estanque de las mismas dimensiones y en el mismo tiempo que espresaba el ejemplo del (§ 9) 2283691 pies cúbicos, que son 878 mas que el resultado que da la fórmula de Madrid, lo cual viene á ser $\frac{1}{2600}$ del valor que da la espresada fórmula; pero por defecto, es decir, que al valor obtenido por dicha fórmula de Madrid le falta $\frac{1}{2600}$ para ser el verdadero; lo que es de bien pequeña consideracion.

Si hiciéramos el cálculo por el supuesto de los demas Autores de no influir la variacion de la gravedad, hubiéramos obtenido 2286293 pies cúbicos, como lo hemos verificado (12); en este caso resultan 2602 pies cúbicos de mas; lo cual equivale á $\frac{1}{877}$ del resultado verdadero, que ya merece mas consideracion; y es cerca de tres veces mayor este error que el que resulta por la fórmula de Madrid.

16 Si se tratase de resolver el mismo ejemplo para la localidad de Búrgos, deberémos tomar en vez de g el valor 35,1035 pies, que hemos obtenido para la gravedad (5 ej. 2.°); lo que nos da por resultado 2283053 pies cúbicos. Este valor, comparado con el obtenido para Madrid, solamente tiene 240 pies cúbicos mas; diferencia que es de bien pequeña consideracion, pues solo equivale á $\frac{1}{9512}$; pero si hiciéramos el cálculo por el supuesto de los demas Autores, de no influir la variacion de la gravedad, obtendríamos (§ 12) 2286293; valor que escede al verdadero en 3240 pies cúbicos; que es de consideracion, pues equivale á $\frac{1}{705}$ del verdadero; y resulta un error 13 veces mayor que el dado por la fórmula de Madrid.

17 Resolviendo el mismo ejemplo para la localidad que ocupa

la laguna de Peñalara, en que hemos hallado (5 ej. 3°) que la fuerza de la gravedad es 35,0843 pies, deberémos sustituir, en vez de g, este valor y obtendrémos por resultado 2282428; el cual comparado con el obtenido por la fórmula de Madrid, tiene 384 pies cúbicos ménos, diferencia que no es de mucha consideracion, pues solo equivale á $\frac{1}{5945}$; pero si se hiciera el cálculo por el supuesto de los demas Autores, se obtendría (§ 12) 2286293, valor que escede al verdadero en 3864 pies cúbicos, que es de mucha consideracion; pues equivale á $\frac{1}{591}$ de dicho valor, y este error es 10 veces mayor que el que da la fórmula de Madrid.

18 Si se resuelve el mismo ejemplo para la localidad de Vergara, deberémos sustituir en vez de g el valor 35,1169 que hemos obtenido para la gravedad en dicho punto (5 ej. 4°), y obtendrémos 2283489; que comparado con el de Madrid tiene 676 pies cúbicos mas; diferencia de poca consideracion; pues solo equivale á $\frac{1}{3377}$. Pero si hiciésemos el cálculo por el supuesto de los demas Autores, hubiéramos obtenido (§ 12) 2286293, valor que escede al verdadero en 2804 pies cúbicos, que ya es considerable, pues equivale á $\frac{1}{814}$ del verdadero; cuyo error es 4 veces mayor que el de la fórmula de Madrid.

19 Si se resuelve el mismo ejemplo para Manzanares de la Mancha, en que la gravedad es $g=35,0887$, hallamos por resultado 2282572, que solo le escede el de Madrid en 241 pies, que es de poca consideracion, pues solo equivale á $\frac{1}{9472}$; pero haciendo el cálculo en el supuesto de los demas Autores no teniendo en cuenta la influencia de la variacion de la gravedad, se halla (§ 12) 2286293, que escede al verdadero en 3721 pies, que es bien cosiderable, pues equivale á cerca de $\frac{1}{613}$ del verdadero, que es 15 veces mayor que el de la fórmula de Madrid.

20 Si se revuelve el mismo ejemplo para la situacion de Valencia, en que $g=35,0978$, hallarémos 2282868 pies; cuyo valor comparado con el que se sacó para Madrid solo tiene 55 pies cúbicos mas, que se puede suponer despreciable, pues solo equivale á $\frac{1}{1506}$, y segun los demas Autores hubiéramos hallado un esceso sobre el resultado verdadero de 3425 pies cúbicos, que es de consideracion, pues equivale á $\frac{1}{667}$, y es cerca de 63 veces mayor que el de la fórmula de Madrid.

21 Si se resuelve el mismo ejemplo para la localidad de la *Sierra Nevada* de Granada en el pico de *Mulhassem ó Muley-hasen*, donde sabemos que $g=35,03566$, hallamos 2280846; que cotejado

con el de Madrid, que es 2282813, resulta tener 1967 pies de ménos, que no es despreciable aunque solo equivale á $\frac{1}{1161}$. Pero si hiciéramos el cálculo por el supuesto de los demas Autores, obtendríamos 2286293, que escede al verdadero en 5447 y equivale á $\frac{1}{419}$ de este, y es un error cerca de 3 veces mayor que el anterior.

Si resolvemos dicho ejemplo para la misma localidad que ántes y á la altura del límite inferior de las nieves perpétuas, donde $g=35{,}04445$, hallarémos 2281132; el cual comparado con el obtenido para Madrid tiene 1681 pies cúbicos ménos que este, que solo equivale á $\frac{1}{1358}$. Pero comparado con el obtenido por lo que dicen los demas Autores, resultan 5161 pies cúbicos ménos, que es cerca de $\frac{1}{442}$, y es 3 veces mayor que el de la fórmula de Madrid.

Resolviendo el mismo ejemplo para la localidad de la *Sierra de Gádor*, donde $g=35{,}05093$, hallamos 2281343, que tiene 1470 pies ménos que el resultado de Madrid; error que no es de poca consideracion, pues equivale á $\frac{1}{1553}$ del valor que da la fórmula de Madrid, siendo así que la de los demas Autores, causa una diferencia de 4950, que es cerca de $\frac{1}{461}$ del resultado verdadero, y por consiguiente mas de 3 veces mayor que el de mi fórmula para Madrid.

22 Haciendo la aplicacion respecto de Córdoba, donde (§ 5 ej. 9°) se tiene $g=35{,}0865$, hubiéramos hallado 2282500, que escede al resultado para Madrid en 313 pies, y es por lo mismo un error de $\frac{1}{7293}$ del que da la fórmula de Madrid, siendo así que el verdadero resultado tiene 3793 pies cúbicos ménos que el que da la fórmula de los demas Autores, y es el error $\frac{1}{602}$ del resultado verdadero, y por consiguiente 12 veces mayor que el anterior.

23 Si se resuelve el mismo ejemplo para la localidad de Tarifa, donde $g=35{,}0797$ pies (5 ej. 10°) hallamos 2282279, que tiene 534 pies ménos que el de Madrid, y da un error espresado por $\frac{1}{4275}$ del resultado de Madrid; escediendo el que da la fórmula de los demas Autores al verdadero en 4014, error que es $\frac{1}{569}$ del verdadero, y viene á ser mas de 7 veces mayor que el error anterior.

24 Si se resuelve el mismo ejemplo para el primer caso de la localidad del *pico de Teide* (5 ej. 11°), hallamos 2279482, que tiene 3331 pies ménos que el de Madrid, error que es de consideracion, pues equivale á $\frac{1}{685}$ de dicho resultado de Madrid; y teniendo el verdadero 6811 pies ménos que el que da la fórmula de los demas Autores, el error es de $\frac{1}{335}$ del verdadero, que es mas de 2 veces mayor que el anterior,

Si se resuelve el mismo ejemplo con relacion á dicha locali-

dad, á la altura del límite inferior de las nieves perpétuas, donde $g=35,00773$, el resultado es 2279937, que tiene 2876 pies ménos que el de Madrid, y el error viene á ser $\frac{1}{791}$ de este; y como el resultado verdadero tiene 6356 pies ménos que el que da la fórmula de los demas Autores, el error es cerca de $\frac{1}{359}$; y viene á ser mas de 2 veces mayor que el anterior.

Si se resuelve el mismo ejemplo para la espresada localidad, al nivel del mar, donde $g=35,04147$, el resultado es 2281035, que contiene 1778 pies cúbicos ménos que el de Madrid; lo que da un error de $\frac{1}{1284}$ con corta diferencia, y escediendo el resultado de los demas Autores al verdadero en 5258, se cometería un error de $\frac{1}{434}$, que es cerca de 3 veces mayor que el anterior.

25 Si se resuelve el mismo ejemplo para la localidad de la Habana (5 ej. 12.°), donde se tiene $g=35,0184$; el resultado es 2280284 que difiere del de Madrid en 2529, y el error viene á ser $\frac{1}{903}$. Pero con relacion al resultado que da la fórmula de los demas Autores, la diferencia es 6009 y el error $\frac{1}{379}$, que es mas de dos veces mayor que el anterior.

26 Si se resuelve el mismo ejemplo para la localidad de Manila (5 ej. 13°) se tiene $g=34,9891$; y el resultado es 2279330, que le faltan para el de Madrid 3483 pies; y el error viene á ser $\frac{1}{656}$. La diferencia con relacion al resultado de la fórmula de los demas Autores es 6963, que da un error próximamente de $\frac{1}{327}$, que es dos veces mayor que el anterior.

27 Si resolvemos el mismo ejemplo para la localidad del punto mas alto del *Chimbórazo*, donde (5 ej. 14.°) se tiene $g=34,77429$, el resultado es 2272323 que tiene 10490 pies ménos que el de Madrid, y el error por consiguiente viene á ser de $\frac{1}{218}$. Comparado el mismo resultado verdadero con el que da la fórmula de los demas Autores, la diferencia es 13970, y el error asciende á $\frac{1}{163}$, que es mayor que el anterior, aunque no llega al doble; y es un error de mucha consideracion.

Si resolvemos el mismo ejemplo para la altura del límite inferior de las nieves perpétuas en el ecuador donde $g=34,80961$, el resultado verdadero es 2273476, que tiene 9337 pies cúbicos ménos que el correspondiente á Madrid, y el error es $\frac{1}{244}$. Pero si le comparamos con el resultado que da la fórmula de los demas Autores, la diferencia es 12817 y el error $\frac{1}{177}$, que tambien es mayor que el anterior aunque tampoco llega al doble.

Si resolvemos el mismo ejemplo para la ciudad de Quito, donde

$g=34,93616$, el resultado 2277605 tiene 5208 pies ménos que el correspondiente á Madrid, y se comete un error de $\frac{1}{438}$. Pero si le comparamos con el de la fórmula de los demas Autores la diferencia es 8688, y el error $\frac{1}{262}$, que es casi doble del anterior.

Si resolvemos el mismo ejemplo para la localidad del ecuador al nivel del mar, donde $g=34,96845$, el resultado es 2278657; que tiene 4156 pies ménos que el de la fórmula de Madrid, y el error asciende á cerca de $\frac{1}{549}$ del valor que da la fórmula de Madrid. Pero si se compara con el que da la de los demas Autores, la diferencia es 7636 y el error viene á ser $\frac{1}{298}$, que es muy cerca de dos veces mayor que el anterior.

28. Si resolvemos el mismo ejemplo para la cima de *Himálaya*, donde $g=34,9651$, el resultado es 2278548; que comparado con el de Madrid, tiene 4265 pies ménos; lo que produce un error de $\frac{1}{535}$ con corta diferencia. Pero comparado con el de la fórmula de los demas Autores, tiene 7745 pies ménos, y el error es $\frac{1}{294}$ con corta diferencia, que es cerca de dos veces mayor que el anterior.

29. *Consecuencia general.* Queda pues demostrado con la mayor evidencia, que *por ningun título se puede considerar la fuerza de la gravedad como una constante absoluta, sinó para localidades que disten poco en latitud y en que la diferencia de altura sobre el nivel del mar no sea de mucha consideracion; y que por lo mismo las fórmulas que se vean en los Autores, cualquiera que sea la celebridad y reputacion de estos, que no contengan indeterminada la gravedad, no pueden ser aplicables á paises distantes de aquellos en que se han formado los cálculos; y que para dichas localidades es indispensable hacer uso de las fórmulas que yo presento; en las cuales la fuerza de la gravedad se halla indeterminada: siendo indispensable, al hacer las aplicaciones, determinar ante todas cosas la fuerza de la gravedad, por el método espuesto* (5), *para sustituirla en nuestras fórmulas generales.*

Y que contrayéndonos á nuestra España peninsular, *se podrá en muchos casos hacer aplicacion de la fórmula que contenga la gravedad de Madrid; en el concepto de que el mayor error que se podrá cometer por defecto es* $\frac{1}{2600}$, *que no es de consideracion, y que no escede al límite de los errores que pueden dar las demas determinaciones, y el mayor error que se puede cometer por esceso asciende solamente á* $\frac{1}{1161}$, *del valor calculado para la localidad de Madrid*; pero como esto es solo en un caso muy raro, cual



es el de suponer que se tratase de hacer aplicacion en el punto mas alto del pico de *Mulhassem* en la Sierra Nevada de Granada, á donde no consta que persona ninguna haya subido, ni probablemente jamas subirá, podemos establecer *que no resultarían graves inconvenientes de tomar las fórmulas, calculadas para Madrid, como adecuadas para todas las localidades de la Península.* No obstante, la persona á cuyo cargo corra el hacer las aplicaciones, sabrá el grado de exactitud que le conviene obtener; y si este mayor grado de rigor no compensa el trabajo de calcular la fuerza de la gravedad, puede hacerlo por la fórmula correspondiente á Madrid.

30 Pero si aun quisiese valerse de las fórmulas para Madrid, podría despues hacer la correccion oportuna del modo siguiente.

Para la Zona comprendida entre los paralelos 39° y 42° de latitud, que abraza por la parte del norte, todo el territorio de Castilla, comprendido por Ciudad-Rodrigo, Salamanca, Zamora, Valladolid, Rioseco, Avila, Segovia, Osma, Soria, Calatayud, Zaragoza, Sigüenza, Guadalajara, Cervera, Lérida, Tortosa, Tarragona, Manresa y Barcelona; y por el mediodia todo el territorio que ocupan Toledo, Aranjuez, Plasencia, Coria, Trujillo, Huete, Cuenca, Segorve, Valencia, Mallorca y Menorca, se podría hacer uso de las fórmulas de Madrid, sin necesidad de ninguna correccion al resultado.

Para toda la Zona ó territorio comprendido entre los paralelos 42° y 43°, que es la estension que ocupan Búrgos, Astorga, Orense, Santiago de Galicia, Frias, Arnedo, Logroño, Vitoria, Pamplona, Tafalla, Jaca, Tudela, Sangüesa, Urgel y Gerona, se podría hacer uso tambien de la fórmula de Madrid, añadiendo al resultado que se obtenga el valor de $\frac{1}{9512}$ del obtenido por la fórmula de Madrid.

Para el territorio comprendido desde el paralelo 43° hasta el mar, que es la posicion de Vergara, Bilbao, Tolosa, Fuenterrabía, Irun, San Sebastian, Oviedo, Castropol, Rivadéo, Mondoñedo, Betanzos, Ferrol y la Coruña, se podrá hacer uso de la fórmula de Madrid, añadiendo al resultado que ella dé, el valor de $\frac{1}{3377}$ del mismo resultado.

Para el territorio comprendido entre el paralelo 38° y 39°, que se halla ocupado por Manzanares, Llerena, Mérida, Badajoz, Alcaraz, Chinchilla, Villena, Alicante é Iviza, se podrá hacer uso de la fórmula de Madrid, añadiendo despues á lo que se obtenga $\frac{1}{9472}$ del mismo resultado.

Y para toda la parte meridional de la Península desde el gra-

do 38 de latitud, en cuyo territorio se halla Córdoba, Bujalance, Montilla, Granada, Málaga, Lorca, Motril, Almería, Ronda, Utrera, Sevilla, Carmona, Moguer y Cádiz, se puede hacer uso de la fórmula de Madrid, añadiendo al resultado $\frac{1}{7293}$ del mismo.

31 Al terminar este punto, no puedo ménos de advertir, que hemos hecho aplicacion á todas las localidades que puede presentar la superficie del Globo Terrestre, hasta mas arriba de la region de las nieves perpétuas, tanto en la Sierra Nevada de Granada, como en el pico de *Teide*, Chimbórazo é Himâlaya, aunque en realidad las fórmulas del movimiento de las aguas, no pueden tener aplicacion, por cuanto allí el agua en su estado natural jamas puede hallarse líquida, en la superficie del terreno; mas, sin embargo, no por eso dejará de ser posible, la aplicacion á las mencionadas alturas; pues hay varias minas, principalmente las de plata, que se hallan mucho mas altas que las nieves perpétuas, y dentro de las minas el agua está en su estado de liquidez, y por consiguiente tienen una aplicacion inmediata y aun muy útil, conveniente y necesaria, todas las fórmulas del movimiento de las aguas contenidas en esta obra; mayormente cuando en la actualidad, para el trasporte del mineral en lo interior de las minas, se van estableciendo canales subterráneos, que proporcionan unas ventajas inmensas á los Propietarios ó Empresarios que las benefician.

32 La (ec. 7) contiene cuatro cantidades indeterminadas, á saber q, t, k y h; pues la letra g espresa la fuerza de la gravedad, que es determinada en cualquier parage del Globo y que se puede hallar en virtud de lo espuesto (5); luego siempre que se den conocidas tres de las espresadas cantidades, por medio de dicha fórmula podrémos encontrar la cuarta. La espresada (ec. 7) nos da inmediatamente el gasto, cuando se conoce el tiempo, la superficie del orificio y la carga.

33 Si supusiéramos conocida la superficie del orificio y la carga; y deseáramos saber el tiempo que se necesitaba para producir un gasto determinado, despejaríamos t en la citada ecuacion, y tendríamos $t=\frac{Q}{k\times\sqrt{2g\times h}}$ (8); la cual nos dice que *para hallar el tiempo cuando es conocido el gasto, la superficie del orificio y la carga, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por la carga; de esto se estraerá la raiz cuadrada; dicha raiz se multiplicará por la superficie del orificio; y por el producto*

que resulte, se dividirá el gasto; y el cociente, que se obtenga, espresará el tiempo buscado.

Ejemplo. Si se nos pidiese averiguar en Madrid, ó en cualquier punto que tenga la misma situacion, cuanto tiempo debía estar abierto un orificio embudado, de forma rectangular, que uno de los lados tuviese 5 pulgadas, el otro 4, y en que la carga fuese 6 pies, para producir 1000 pies cúbicos de agua; practicando la regla que acabo de establecer, deberé multiplicar el duplo de la fuerza de la gravedad en Madrid, que es 70,1922 pies, por la carga, que es, en el caso presente, 6 pies; lo que da 421,1532; estraigo la raiz cuadrada de este número y encuentro 20,522017. Ahora, para encontrar la superficie del orificio, deberémos espresar sus dimensiones en quebrados de pie, lo que da $\frac{5}{12}$ y $\frac{4}{12}$; y multiplicándolas entre sí, hallo $\frac{20}{144}$, que simplificando (131 Art. de N), se convierte en $\frac{5}{36}$, que reducido á fraccion decimal, se trasforma en 0,138888 &c.; y como la cuarta cifra es 8 y lo mismo las demas, podré tomar 0,139 para la superficie del orificio espresada en fraccion decimal de pie cuadrado; la que multiplicada por la raiz hallada anteriormente, esto es, por 20,522017, da 2,85256; y por último, dividido el gasto, que es 1000 pies cúbicos, por el número hallado, saco por cociente 350,6; que espresa el número de segundos que se necesitan para producir en las circunstancias del problema, el gasto de los 1000 pies cúbicos que se deseaban.

Si queremos espresar este número de segundos en minutos, no habrá mas que dividirle por 60, y hallarémos 5 minutos y 50,6 segundos.

34. Si, dado el gasto, el tiempo y la carga, se quisiera determinar la superficie del orificio, no tendríamos que hacer mas que despejar la k en la misma (ec. 7); lo que nos daría

$$k=\frac{Q}{t\times\sqrt{2g\times h}}\ (9);$$

la cual nos dice que, *para encontrar la superficie del orificio, que ha de tener la forma embudada, cuando se conoce el gasto, la carga y el tiempo, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por la carga; de este producto se estraerá la raiz cuadrada; esta se multiplicará por el tiempo; y por el producto que resulte, se dividirá el gasto; y el cociente espresará la superficie del orificio.*

Ejemplo. Si quisiéramos saber *la superficie que debia tener en Madrid un orificio para que en* 100 *segundos y con una*

carga de 10 *pies, diese* 8 *pies cúbicos de agua*, practicando la regla, hallaríamos que la superficie del espresado orificio debía ser 0,00302 de pie cuadrado.

Ahora, segun se quiera que el orificio sea cuadrado, rectangular, poligonal ó circular, se hallarán sus dimensiones por las reglas de la Geometría. Así es, que si quisiéramos que fuese cuadrado, no tendriamos mas que estraer la raiz cuadrada de este número y obtendriamos 0,0549 de pie, que vienen á ser unas 8 líneas. Por consiguiente, haciendo un orificio cuadrado en que el lado fuese de 8 líneas, se tendrá el orificio que dará el gasto pedido, en las circunstancias enunciadas *.

* Los que estén bien impuestos en la Geometría no hallarán dificultad en encontrar las dimensiones que convengan á una figura, para que tenga una superficie dada; pero en obsequio de los que no tengan todo el lleno de conocimientos geométricos, voy á insertar aquí una tabla, por cuyo medio lo podrán conseguir; la cual al mismo tiempo será útil tambien para abreviar el trabajo, aun á los mismos inteligentes.

Tabla en que están calculadas las partes de los diez primeros polígonos regulares, tomando por unidad el radio recto de cada polígono.

Polígonos regulares.	Radio recto.	Radio oblicuo	Lado.	Perímetro.	Superficie.
Triángulo	1,0000	2,0000	3,4641	10,3923	5,1962
Cuadrado	1,0000	1,4142	2,0000	8,0000	4,0000
Pentágono	1 0000	1,2361	1,4531	7,2654	3,6327
Exágono	1,0000	1,1547	1,1547	6,9282	3,4641
Eptágono	1,0000	1,1099	0,9631	6,7420	3,3710
Octógono	1,0000	1,0824	0,8284	6,6274	3,3137
Eneágono	1,0000	1,0642	0,7279	6,5515	3,2757
Decágono	1,0000	1,0515	0,6498	6,4984	3,2492
Endecágono	1,0000	1,0422	0,5873	6,4598	3,2299
Dodecágono	1,0000	1,0353	0,5359	6,4308	3,2154

Siempre que, en un polígono regular, se dé conocida una de estas cinco cosas, el *radio recto*, *el radio oblicuo*, *el lado del polígono*, *la superficie ó el perímetro*, se pueden hallar, con el auxilio de la tabla precedente, las otras cuatro cosas del modo que sigue.

Si no entra la superficie, en lo que se da conocido, ni es lo que se busca, se formará esta proporcion ó regla de tres.

El número que se halla en la tabla, de la misma especie, ú homólogo al que se da conocido, es á este, como la parte que se halla en la tabla, que sea homóloga con la que se busca, es el cuarto término, que espresará la parte buscada.

Si la parte que se da conocida, es la superficie, la proporcion ó regla de tres se formará de este modo.

La superficie que corresponde al polígono, por la tabla, es á la superficie que se da conocida, como el cuadrado del número que se halla en la tabla

35 Si en la misma (ec. 7) despejamos la h, tendrémos $h=\frac{Q^2}{2g\times t^2\times k^2}$ (10); cuya ecuacion nos manifiesta que *para hallar la carga ó lo que es lo mismo, la altura ó diferencia de ni-*

homólogo d la parte que se busca, es al cuarto término, que será el cuadrado de la parte buscada; y estrayendo la raiz cuadrada (228 *Ar. de N.*) *se tendrá la parte que se desea.*

Si la parte buscada fuese la superficie, deberíamos formar la proporcion ó regla de tres del modo que sigue.

El cuadrado del número que en la tabla corresponde al homólogo de la parte conocida, es al cuadrado del valor de esta, como el valor de la superficie que corresponde en la tabla, es al cuarto término que resulte; el cual espresará la superficie que se deseaba encontrar.

1.er Ejemplo. Supongamos que se quiera determinar el radio recto y el radio oblícuo del cuadrado, que hemos supuesto servir de orificio en la cuestion resuelta (§ 9). Sabemos que la figura es un cuadrado, cuyo lado es un pie; y como *un pie en cuadro es lo mismo que un pie cuadrado* (239 Ar. de N.), aquí puedo hacer uso de conocer el lado, que es de 1 pie longitudinal, ó de conocer la superficie, que es 1 pie cuadrado; el primer supuesto nos servirá para encontrar el radio recto, y el segundo para determinar el radio oblícuo, á fin de familiarizar bien al lector en la aplicacion de la regla.

Para determinar el radio recto, pues que conocemos el lado, dirémos 2 (valor que corresponde al lado del cuadrado en la tabla, porque lo que supongo conocido, es el lado del cuadrado) : 1 (lado conocido del cuadrado) :: 1 (radio recto correspondiente al cuadrado en la tabla) : al cuarto término, que debe representar el *radio recto* correspondiente al cuadrado de la cuestion que tiene por lado 1 pie longitudinal.

Para encontrar este cuarto término, multiplico el segundo término 1 de la proporcion, por el tercer término, que tambien es 1; y el producto, que tambien resulta ser 1, lo dividiré por el primer término, que es 2, y obtengo $\frac{1}{2}=0,5$ de pie, para el radio recto del cuadrado que busco.

Para encontrar el radio oblícuo, por el conocimiento que tengo de que la superficie es 1 pie cuadrado, formaré la proporcion ó regla de tres del modo siguiente, 4 (superficie que corresponde al cuadrado en la tabla) : 1 (superficie que se me da conocida) :: 1,999 &c., (cuadrado del valor 1,4142 correspondiente al radio oblícuo en la tabla) : al cuarto término.

Para encontrarle, debo observar que el tercer término 1,999 &c., que se compone todavía de mas nueves, lo debo reputar como 2, en cuyo caso multiplicando el segundo término 1 por el tercero que es 2, se tiene 2 por producto, y dividiendo este producto por 4, se obtiene $\frac{1}{2}=0,5$ de pie cuadrado, que estrayendo la raiz cuadrada, resulta 0,7071 de pie longitudinal para el radio oblícuo que buscaba.

Para convencernos de la exactitud de este procedimiento, hallemos el mismo radio oblícuo, suponiendo conocido el lado, que es un pie longitudinal. A cuyo efecto, plantearémos la proporcion ó regla de tres de este modo:

2 (lado del cuadrado en la tabla) : 1 (lado del cuadrado que se nos da) :: 1,4142 (radio oblícuo de la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,7071, que es el radio oblícuo que se buscaba, y resulta el mismo valor de ántes.

Contrayéndonos ahora á la cuestion, supongamos que se trate de construir un eptágono, que tenga por superficie 0,00302 de pie cuadrado: lo

vel que ha de haber entre la superficie del agua en un depósito, y el centro del orificio, cuando es conocido el gasto, el tiempo y la superficie del orificio, se dividirá el cuadrado del gasto, por lo que resulte de multiplicar el duplo de la fuerza de la gravedad por el cuadrado del tiempo y por el cuadrado de la superficie del orificio.

Ejemplo. Si en Vergara se quisiera determinar la carga ó altura á que el agua de un depósito debía estar, sobre el centro de un orificio; para que en una hora suministrase 9000 pies cúbicos de agua, por una abertura rectangular, de forma embudada y de 3 pulgadas de ancho por 4 pulgadas de largo, empezaría por reducir á pies las dimensiones 4 y 3 pulgadas, que vendrían respectivamen-

---

que conseguirémos determinando el lado y el radio oblícuo. Para encontrar el lado, puesto que conocemos la superficie, plantearémos la cuestion del modo siguiente:

3,3710 (superficie del eptágono en la tabla): 0,00302 (superficie conocida del eptágono que tratamos de construir) :: 0,9276 (cuadrado del lado 0,9631, que se halla en la tabla): al cuarto término, que saco ser 0,000831, que es el cuadrado del lado que busco; y estrayendo la raiz cuadrada, tendré que dicho lado del eptágono que busco es 0,0288 de pie, que hacen poco mas de 4 líneas.

Para encontrar el radio oblícuo, establecerémos la proporcion ó regla de tres siguiente:

3,3710 (superficie de la tabla): 0,00302 (superficie conocida) :: 1,2319 (cuadrado del valor 1,1099 correspondiente al radio oblícuo de la tabla): al cuarto término que resulta ser 0,001104, cuya raiz cuadrada es 0,03323 de pie, que hacen 4 líneas y muy cerca de ocho décimas de línea. Por consiguiente, si con un radio de 4 líneas y ocho décimas de otra línea, trazamos un círculo, y con una abertura de compás, igual con 4 líneas, que es el lado, vamos señalando puntos en la circunferencia, y unimos los puntos inmediatos de dos en dos, resultará construido el eptágono regular, que tendría por superficie 0,00302 de pie cuadrado, y por consiguiente, que satisfará á la cuestion.

Lo mismo se debería practicar si se quisiera que el orificio tuviese la figura de cualquier polígono regular de la tabla.

En el caso de que el orificio debiese tener la forma rectangular, buscaríamos dos números, cuyo producto fuese igual á 0,00302, ó lo mas próximamente posible. Aquí, despreciando el último guarismo 2, que está en el quinto lugar decimal y por consiguiente es de poca influencia, se presentan naturalmente los números 0,05 y 0,06, que producen el 0,0030; por lo que tomando para uno de los lados del rectángulo 0,05 de pie, que viene á equivaler á 7 líneas y dos décimas partes de otra línea, y por altura, ó para el otro lado, 0,06 de pie, que equivalen á 8 líneas y sesenta y cuatro centésimas de otra línea, tendrémos uno de los rectángulos que satisfarían á la cuestion. Lo mismo sucedería si se eligiesen por lados del rectángulo los números 0,1 y 0,03, y tambien los 0,15 y 0,02; que cumplen con la condicion de producir por su multiplicacion respectiva la superficie propuesta 0,0030; pero si no hay algun motivo particular, se deben preferir las dimensiones que mas aproximen el rectángulo á tener la figura cuadrada.

te espresadas por $\frac{4}{12}$ y $\frac{3}{12}$, ó simplificando por $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{4}$; que multiplicados entre sí, dan $\frac{1}{12}$ de pie cuadrado; lo que, reducido á fraccion decimal de pie cuadrado, da 0,08333 &c.; y formando su cuadrado, se obtiene 0,006944.

Hecho esto, multiplico 12960000 cuadrado del tiempo, que son 3600 segundos, por el duplo de la fuerza de la gravedad, que en este caso es (§ 5 ej. 4.°) 70,2338 y hallo 910230048; multiplico este número por el cuadrado de la superficie del orificio que es 0,006944, y encuentro 6320637,45; por cuyo número divido el cuadrado 81000000 del gasto 9000; y hallo por último 12,8 que es la carga espresada en pies; lo cual nos quiere decir que *la altura del agua en el depósito debe ser de 12 pies y 8 décimas partes de otro pie, que son cerca de 13 pies.*

36 Hemos dicho que k en la fórmula (7) espresa la superficie del orificio, cuya figura puede ser cualquiera de las que se consideran en la Geometría; pero como gran parte de los orificios son circulares, vamos á poner aquí la trasformacion que conviene á la espresada fórmula cuando el orificio es circular.

Para esto, no tenemos que hacer otra cosa que poner en vez de k la superficie de un círculo, ya con relacion al diámetro, ya con relacion al radio, ya con relacion á la circunferencia. En virtud de lo espuesto (§ 522 cor. 1.° I T. E) con relacion al diámetro, que espresarémos por D, tendrémos

$$Q=0,785398163 4\times D^2\times t\times\sqrt{2g\times h}\ (11);$$

Con relacion al radio, que espresarémos por R, tendrémos

$$Q=3,1415926536\times R^2\times t\times\sqrt{2g\times h}\ (12);$$

y con relacion á la circunferencia, será

$$Q=0,0795774715\times C^2\times t\times\sqrt{2g\times h}\ (13).$$

37 De estas ecuaciones, la que por lo general se aplica mas frecuentemente es la (11); por lo cual, es la que traducirémos en regla, diciendo que, *para encontrar el gasto, se debe multiplicar el duplo de la fuerza de la gravedad correspondiente al parage de que se trate, por la carga ó altura; de este producto se estraerá la raiz cuadrada; esta se multiplicará por el tiempo que dure el desagüe espresado en segundos; el producto que resulte se multiplicará por el cuadrado del diámetro del orificio, y este producto se volverá á multiplicar por el número constante* 0,7853981634 (*tomando los guarismos que se juzguen convenientes á la importancia de la cuestion, que en general se deberán*

tomar tantos guarismos decimales mas uno, como guarismos en enteros contenga el producto anterior, para que no resulte ningun error sensible); *y el producto espresará el gasto en pies cúbicos.*

Ej. Supongamos que se quiera determinar el gasto producido en Manzanares de la Mancha, durante 3 horas, por un orificio circular de dos pulgadas de diámetro y forma embudada, siendo 4 pies la carga ó altura del nivel del agua en el depósito sobre el centro de dicho orificio.

En dicha localidad, se sabe que $g=35,0887$ pies (5 ej. 6°); duplico este número y hallo 70,1774; multiplico esto por 4 altura del nivel del líquido sobre el centro del orificio, y encuentro 280,7096, cuya raiz cuadrada es 16,75439; multiplico esta raiz por el tiempo espresado en segundos, que es 10800 y hallo 180947,412, lo que multiplico por el cuadrado de $\frac{2}{12}=\frac{1}{6}$, que es $\frac{1}{36}$, lo que está reducido á dividir el número anterior por 36; y da 5026,317. Multiplico esto por 0,785398, que es aquí suficiente aproximacion, por contener el 5026,317 cuatro guarismos enteros, y hallo por último 4026 pies cúbicos que espresan el gasto pedido.

38 Si en la (ec. 11), despejamos la t, nos resultará

$$t=\frac{Q}{0,785398163 4\times D^2\times\sqrt{2g\times h}}\ (14);$$

que nos servirá para determinar el tiempo que ha durado el desagüe cuando se conozca el gasto que haya de producir ó haya producido; el diámetro del orificio, y la carga ó altura del líquido sobre su centro; y traducida en regla nos dice, que *para encontrar el tiempo, se multiplicará el duplo del valor que corresponde á la fuerza de la gravedad por la carga ó altura; del producto, se estraerá la raiz cuadrada; esta raiz se multiplicará por el cuadrado del diámetro espresado en pies ó fraccion de pie; el producto que se obtenga se volverá á multiplicar por el número constante* 0,7853981634; *y se dividirá el gasto por el producto hallado.*

Ej. Supongamos que se nos pida encontrar el tiempo que deberá trascurrir para obtener en Valencia, un gasto de 2400 pies cúbicos cuando el orificio de un depósito sea embudado y de 4 pulgadas, de diámetro, y la carga ó altura de 2 pies.

Practicando las operaciones dichas, hallo por último 2321 segundos, que componen 28 minutos y 41 segundos.

39 Si en la misma (ec. 11), despejamos el diámetro, tendré-

mos $D=\sqrt{\dfrac{Q}{0,785398163\,4\times t\times\sqrt{2g\times h}}}$ (15); que traducida en regla nos dice, que *cuando se necesite hallar el diámetro que deba tener un orificio para que, en un tiempo conocido y con una carga dada, produzca un gasto determinado, se deberá multiplicar le duplo de la fuerza de la gravedad por la carga ó altura; del producto que resulte estraer la raiz cuadrada; multiplicar esta por el tiempo espresado en segundos; el producto que se obtenga, volverle á multiplicar por el número constante 0,7853981634; dividir por este número el gasto, y del cociente que resulte, estraer la raiz cuadrada.*

Ej. Supongamos que se trate de hallar el diámetro que deba darse á un orificio circular, para que en el punto mas alto de nuestra Península, que es el Pico de *Mulhassem ó Muley-hasen*, produzca en 20 minutos con una carga ó altura de 4 pies un gasto de 400 pies cúbicos.

Siguiendo la regla dada, teniendo presente que en dicho parage la fuerza g, de la gravedad es 35,03566 (5 ej. 8.°), hallo por último para el cuadrado del diámetro el número 0,02535067; y para el mismo diámetro 0,1592 de pie, ó 1,9104 pulgadas.

Debemos advertir, para no inducir á error, que este caso no puede ocurrir en aquel parage, sinó es debajo de tierra ó artificialmente; pues debiendo haber nieves perpétuas en aquella localidad, el agua no puede hallarse líquida. Si por algun medio natural ó artificial se verificase allí la fusion de las nieves y fuese saliendo el agua por un orificio como el de la cuestion, se verificaría el fenómeno de irse helando el agua conforme fuese saliendo del orificio.

40 Si en la misma (ec. 11) despejamos h, sacarémos

$$h=\frac{Q^2}{(0,7853981634)^2\times(D^2)^2\times t^2\times 2g}$$ (16); cuadrando el número constante y multiplicando el cuadrado por el 2 que afecta á la g, tendrémos $h=\dfrac{Q^2}{1,2337000368(D^2)^2\times t^2\times g}$ (17); que traducida en regla, nos manifiesta que *para encontrar la carga ó altura que deberá darse á un depósito de agua para que, en un tiempo dado, produzca mediante un orificio conocido, un gasto determinado, se deberá multiplicar la fuerza de la gravedad en el*

parage de que se trate, por el cuadrado del tiempo espresado en segundos; el pruducto que se obtenga, se volverá á multiplicar por el cuadrado del cuadrado del diámetro del orificio; este producto se volverá á multiplicar por el número constante 1,2337000368, *y dividiendo el cuadrado del gasto por el producto últimamente hallado, se tendrá la espresada carga ó altura que se buscaba.*

Ej. Supongamos que se nos pregunte qué altura deberémos dar á un depósito de agua en Córdoba, para que en 10 minutos por un orificio de forma embudada, cuyo diámetro sea de 4 pulgadas produzca un gasto de 500 pies cúbicos.

Puesto que en dicho parage (5 ej. 9.°) se tiene $g=35,0865$ pies, practicando la regla, encuentro 1,2995 pies, que valuado en pulgadas y líneas, obtengo 1 pie 3 pulgadas y 7 líneas.

41 El resultado que da la (ec. 7) y demas que hemos deducido de ella, supone ó que el vaso está colocado en el vacío, ó que la atmósfera ejerce igual presion sobre la superficie superior del fluido, y sobre la rebanada ó capa colocada en el orificio y no tiene ninguna influencia sensible sobre el movimiento del fluido. Supongamos ahora que el agua, que sale del vaso, en lugar de pasar al aire, vaya á parar á otro vaso en que el nivel del fluido se conservase constantemente en ab (fig. 14). Llamemos H la altura del nivel AB sobre cd; y h la altura del nivel ab sobre cd; en este caso, la capa ó rebanada colocada en cd, sosteniendo de abajo arriba una presion debida á la carga h, que destruye una parte de la carga que sostiene de arriba abajo, el movimiento de esta capa solo es debido á la presion de una columna, cuya altura es $H-h$. Luego se tiene entónces para la velocidad en el orificio $v=\sqrt{2g(H-h)}$ (18). Y espresando por k la superficie del orificio cd, por t el tiempo de la evacuacion espresado en segundos, y por Q el gasto, ó la cantidad de agua que sale en todo este tiempo resultará $Q=t\times k\times\sqrt{2g(H-h)}$ (19). La cual, traducida en regla, nos dice: *que la diferencia entre las dos alturas del agua en el depósito de entrada y en el de salida, se multiplique por el duplo de la fuerza de la gravedad en el parage donde se opera; que de esto se estraiga la raiz cuadrada; que esta raiz se multiplique por la superficie del orificio; y lo que resulte, se vuelva á multiplicar por el número de segundos que dura la eva-*

cuacion; lo que nos dará el gasto en el espresado tiempo.

Ej. Supongamos que en Valencia se tenga que el vaso AB permanezca constantemente lleno, y que la altura de su nivel sobre el orificio cd sea 15 pies; que la altura del nivel ab, en el vaso de salida sobre cd sea tambien constante y de 4 pies; y que el agua de este segundo vaso, para que no varíe de nivel, vaya saliendo por una abertura cualquiera, tal como m; que el orificio sea un cuadrado de 3 pulgadas de lado; y que tenga la forma embudada como indica la figura, durando la evacuacion dos horas.

En este caso, la diferencia de nivel entre ab y AB, ó lo que espresa $H-h$ estará aquí representado por $15-4$, y equivale á 11 pies, siendo (5 ej. 7.º) en dicha localidad, $g=35,0978$. La letra k representa la superficie del orificio, que, espresada en pies, es $\frac{1}{16}$ de pie cuadrado; el tiempo que dura la evacuacion, hemos dicho ser de 2 horas, que reducidas á segundos por lo dicho (80 Ar. de N.), hallo $t=7200$. Ahora, multiplico 11, que es la diferencia de las alturas, por el duplo de g, que es 70,1956, y hallo 772,1516; de este número, estraigo la raiz cuadrada y encuentro 27,7876. Multiplico este resultado por $\frac{1}{16}$, que es la superficie de orificio, lo que equivale á dividirle por 16 y obtengo 1,7367; vuelvo á multiplicar este número por el tiempo espresado en segundos que es 7200, y hallo finalmente 12504 pies cúbicos.

42 Si el agua sufriese desigual presion en la superficie del depósito, que en el orificio de salida, entónces se debería tener en consideracion esta circunstancia, como lo hemos verificado (§ 570 Mec.); pero allí no hemos hecho ninguna aplicacion inmediata, á causa de que las personas versadas en las Matemáticas, para quienes estaba escrita dicha obra, tenían con esto lo suficiente para resolver cualquier cuestion que pudiera ocurrirles; mas como ahora nos proponemos facilitar la ejecucion de las aplicaciones aun á aquellas personas ménos versadas en dichas ciencias, para que en cualquier tiempo y lugar, puedan resolver por sí mismas las cuestiones que se ofrecen en las diferentes circunstancias de la vida civil, y en los establecimientos de industria, vamos á contraernos á este género de cuestiones.

43 Supongamos, pues, que la presion que el agua sufre en ab (fig. 13) sea diferente de la que sufre en el orificio cd. Este caso lo presenta siempre la naturaleza en todas las circunstancias; pues la presion del aire en cd es mayor que en ab, á causa de que, por lo espuesto (§ 217 Mec. Prác.), las capas inferiores de la atmósfera están mas comprimidas que las superiores. Tambien puede ocurrir

en algunas de las diversas operaciones industriales ó investigaciones científicas, que la superficie superior del depósito sea la que tenga mayor presion; pero como si ocurre alguna vez este caso, es en circunstancias raras, y en que los que se ocupan de la espresada materia, poséen los conocimientos necesarios para poder manejarse por sí, en virtud de lo que esponemos en el parage citado, nos contraerémos aquí solo al caso en que la presion en el orificio es mayor que en la superficie del depósito. Entónces, por lo espuesto (§ 570 Mec.); si llamamos v la velocidad con que sale el agua por el orificio, h la carga ó altura del agua en el depósico, p la altura á que equivale la mayor presion atmosférica que hay en el orificio, y g la fuerza de la gravedad, tendrémos $v=\sqrt{2g(h-p)}$; en este caso el gasto, análogo al de la fórmula (7), será $Q=t\times k\times\sqrt{2g(h-p)}$ (20); y si el orificio fuese circular, se tendrá

$$Q=0{,}785398163\,4\times D^2\times t\times\sqrt{2g(h-p)} \quad (21).$$

Dos métodos se pueden seguir para determinar el valor que tenga p. El uno es hallar la diferencia de presion por un barómetro; es decir, se coloca un barómetro lo mas próximo de la superficie del depósito, y otro lo mas próximo á la superficie del orificio; se ve cuanta es la altura del mercurio en la superficie del depósito; al mismo tiempo se ve la del barómetro que está próximo al orificio; se resta la una de la otra; y la diferencia de estas alturas, se multiplica por 13,5, porque *el mercurio es trece veces y media mas pesado que el agua*, y el producto espresará el valor de p. Si no hubiese mas de un solo barómetro, se coloca el mismo en el un parage, y despues en el otro, mediando el menor intervalo posible de tiempo. Se restan las dos alturas del mercurio en el barómetro, y el resultado se multiplica por 13,5, lo que dará el valor de p. Es preferible la observacion simultánea de los dos barómetros, y es esencial que estos, ántes ó despues de la observacion, se comparen, esto es, se vea si, colocado el uno al lado del otro, dan una misma altura; si no la dan, se hará la debida correccion ántes de multiplicar por 13,5.

Ej. Supongamos que se quiere hallar el gasto de un orificio de 3 pulgadas de diámetro en una hora, siendo la carga ó altura del depósito 300 pies, cuestion que puede ocurrir al querer determinar por ejemplo el gasto de una fuente en la Granja, en Granada, &c., donde hay disposicion para este desnivel. Supongamos

que se coloquen los barómetros el uno lo mas próximo á la superficie del depósito, y el otro lo mas cerca de la del orificio, y que se haya encontrado que la columna del mercurio en el barómetro de junto al orificio sea de 30,137 pulgadas; y la del que se pusiese en la superficie del depósito fuese de 29,758 pulgadas; si estos barómetros colocados juntos, ántes ó despues de esta operacion, diesen igual altura, no teníamos mas que hallar la diferencia de estas dos alturas, que es 0,379 de pulgada; y multiplicando por 13,5, resultan unas 5 pulgadas, que será el valor de p en la fórmula anterior; por lo que $h-p$ valdrá 299 pies y 7 pulgadas, ó 299,5833 pies.

Si los dos barómetros, colocados juntos, no diesen la misma altura, sinó que el uno se diferenciase del otro en una décima parte de pulgada, esta décima parte se quitaría, ántes de hacer la resta, á la altura del barómetro que diese mayor altura, al hacer la comparacion juntos; que si era, por ejemplo, el que se colocó en el orificio, la altura de 29,758, quedaba reducida á 29,658; y hallando la diferencia, se obtendría 0,479; que multiplicando por 13,5 resultan unas seis pulgadas y media, que sería el valor de p; y quitando esta cantidad de los 300 pies de altura, resulta 299 pies y 5 y media pulgadas, ó 299,4583 pies. Ahora, si suponía que este esperimento se verificaba en la Granja, en que la fuerza de la gravedad se puede reputar en 35,0838 pies, y que se quisiese averiguar el agua que saldría en 4 horas por un orificio de 6 pulgadas de diámetro, tendríamos para el duplo de la fuerza de la gravedad 70,1676 pies, y por la fórmula (21) sería $h-p=299,4583$ pies; multiplicando estos dos números entre sí, encuentro 21012,27021108; cuya raiz cuadrada es 144,9561. Multiplico este número por la superficie del orificio espresada en pies cuadrados, que se halla multiplicando el factor constante 0,785398 por el cuadrado del diámetro, que es $\frac{1}{4}$, lo que da 0,19635, y obtengo 28,46213; multiplico este número por los 14400 segundos que hay en las 4 horas, y hallo finalmente 409855 pies cúbicos.

El otro método es aplicable para cuando no se tiene barómetro á la mano, y se conoce el desnivel que hay entre la superficie del depósito y la del orificio.

Para este caso puede servir la siguiente

Tabla que contiene la altura vertical que corresponde á la temperatura media y presion media de la atmósfera, en Madrid, de línea en línea de diferencia de altura barométrica con la presion equivalente de agua.

Líneas de diferencia en la altura barométrica.	Corresponde la altura vertical espresada en pies españoles de	Equivale á la presion de una columna de agua cuya altura espresada en pies sea de
1.	83. . . .	0,09375
2.	116. . . .	0,18750
3.	249. . . .	0,28125
4.	333. . . .	0,37500
5.	417. . . .	0,46875
6.	501. . . .	0,56250
7.	585. . . .	0,65625
8.	670. . . .	0,75000
9.	755. . . .	0,84375
10.	840. . . .	0,93750
11.	925. . . .	1,03125
12.	1011. . . .	1,12500

El uso de esta tabla es ver la diferencia de nivel que hay entre la superficie del orificio y la del depósito; buscar en la segunda columna de la tabla el número que mas se aproxima á dicha diferencia de nivel, y el número que tenga en frente en la tercera columna, espresará la altura de una columna de agua con que se equilibraría el exceso de presion que hay junto al orificio.

Ej. Supongamos que se trate de averiguar el gasto que produciría en 15 minutos un orificio circular de 5 pulgadas en la Sierra de Gádor, con una carga de 500 pies.

En este caso, el número que mas se aproxima en la segunda columna de la tabla es 501, al cual corresponde en la tercera el 0,56250; por consiguiente este será el valor de p; y quitando esta cantidad de la altura h, que es de 500 pies, tendrémos, que $h-p=499,4375$; y como en la Sierra de Gádor, se tiene $g=35,05093$, multiplicaré el doble de este número que es 70,10186 por 499,4375;

lo que da 35011,49770375; de este número estraigo la raiz cuadrada y hallo 187,11359; multiplico este número por el tiempo 15 minutos, reducido á segundos, que son 900, lo que da 168402,231; ahora multiplico esto por el cuadrado del diámetro; y como este es de 5 pulgadas ó $\frac{5}{12}$ de pie, su cuadrado será $\frac{25}{144}$; lo que da 29236,5; y por último multiplico este número por el factor constante 0,7853981634, y hallo 22962,29 pies cúbicos para el gasto pedido.

44 Pasemos ahora al caso en que el orificio tuviese una magnitud comparable con la de la seccion del vaso ó depósito, y cuya forma fuese embudada, cuestion que ocurre con muchísima frecuencia. Conservando las denominaciones precedentes, llamémos ademas K la superficie de la seccion superior del vaso ab (fig. 13). Como el agua es casi enteramente incompresible (§ 485 Mec.), es necesario que pase en el mismo tiempo por todas estas secciones igual cantidad de fluido, ó que las velocidades guarden siempre la razon inversa de las superficies. Así, la velocidad en cd donde la superficie es k, siendo v, la velocidad en ab donde la superficie es K, será $\frac{kv}{K}$; y con esta velocidad es con la cual se debe concebir que el fluido llega á la superficie ab, para mantener el vaso constantemente lleno. Pero, en virtud de lo que precede, no se puede realizar físicamente esta circunstancia, sinó concibiendo que la seccion ab es el orificio de un vaso de figura embudada, cuya superficie sea muy grande en comparacion de la del vaso, y por lo ménos veinte veces mayor, donde él fluido estuviese mantenido sobre esta seccion á la altura, debida á la velocidad $\frac{kv}{K}$, es decir, á una altura (§ 50 y 51 de Mec. Práct.) $\frac{k^2 \times v^2}{2g \times K^2}$; pero de este modo, el orificio de salida cd viene á ser el de un vaso cuya superficie fuese sumamente grande en comparacion de él, y en que el fluido estuviese mantenido constantemente lleno, y á una altura sobre este orificio espresada por $h+\frac{k^2v^2}{2gK^2}$. Luego la velocidad v, que tendria lugar en cd, se deberá á esta altura, de modo que se tendria en virtud del parage aca-

bado de citar $v=\sqrt{2g\left(h+\frac{k^2v^2}{2gK^2}\right)}$; de donde se saca despejando v, para el valor de la velocidad cuando el orificio ya no es muy pequeño, pero que conserva la forma embudada, $v=\sqrt{\frac{2gh}{1-\frac{k^2}{K^2}}}$ (22).

45 Siendo conocida la velocidad en el orificio, lo es tambien su gasto; en efecto, si multiplicamos la velocidad por la superficie k del orificio, tendrémos para el gasto en la unidad de tiempo, que siempre es un segundo en toda espresion que contenga á la fuerza de la gravedad g, la espresion $k\times\sqrt{\frac{2gh}{1-\frac{k^2}{K^2}}}$; y multiplicando esta cantidad por el número de segundos t, y espresando por Q el gasto, se tendrá $Q=t\times k\times\sqrt{\frac{2gh}{1-\frac{k^2}{K^2}}}$ (23) *: de cuya ecuacion

---

* Hemos deducido esta fórmula en el supuesto de que el orificio es sensiblemente menor que la seccion superior del vaso ó depósito; y si se aplicase al caso de ser la superficie del orificio igual ó mayor que la del vaso ó depósito, deberá dar resultados absurdos como en efecto se verifica; pues si suponemos $k=K$, resulta $Q=\infty$; lo que no puede verificarse siendo finitas todas las cantidades y para todos los valores de h y de t que son las variables de dicha ecuacion: y si queremos aun tomarlo de mas arriba, no tenemos mas que considerar la ecuacion (22) que, en el caso de ser $k=K$, da $v=\infty$, esto es, da un valor *infinito* para la velocidad, cualquiera que sea el valor de h; lo que no puede ser, á causa de que la velocidad solo es funcion de la carga ó altura; y esto lo que nos quiere decir, segun lo espuesto (§§ 534 y 536 de la segunda edicion del T. II part. 2.ª) es que las fórmulas (22) y (23) no convienen en manera alguna al caso de ser $k=K$. Lo que efectivamente sucede, puesto que por una parte se han sacado en el supuesto de que k es sensiblemente menor que K, y por otra debe considerarse que cuando $k=K$, las circunstancias del movimiento se han de apreciar por las fórmulas correspondientes á los tubos de conduccion, encañados, &c., &c.

Cuando $k>K$, tanto el valor de Q (ec. 23), como el de v. (ec. 22) resultan imaginarios: y dan á conocer que es un absurdo el aplicar dichas fórmulas al espresado caso: como en efecto es absurdo el quererlas aplicar al caso contrario á aquel en que están sacadas.

A pesar de esto, algunos Autores y principalmente los Italianos, incurriendo en el abuso indicado (§§ 534 y 536 de la 2.ª edic. del T. II

debemos valernos cuando la superficie k del orificio esceda á $\frac{1}{20}$ de la superficie K de la seccion del vaso. Esta ecuacion, traducida en regla nos dice: *que para encontrar el gasto que suministra un orificio de forma embudada y magnitud sensible, comparada con la superficie del depósito, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por la carga ó altura del agua en el depósito sobre el centro del orificio; esto se dividirá por la diferencia que haya entre la unidad y el cociente de dividir el cuadrado de la superficie del orificio por el cuadrado de la superficie del depósito; de esto se estraerá la raiz cuadrada; esta raiz se multiplicará por la superficie del orificio, y el producto se volverá ó multiplicar por el número de segundos que dure el desagüe, y se tendrá el gasto pedido.*

46 Si en dicha ecuacion sustituimos por g su valor en Madrid, que es 35,0961 pies, y estraemos la raiz cuadrada de su duplo, tendrémos $Q=8,3780785 \times t \times k \times \sqrt{\dfrac{h}{1-\dfrac{k^2}{K^2}}}$ (24); la cual tra-

part. 2.ª) han interpretado mal estos resultados, llegando su delirio hasta el punto de querer desechar toda la Teoría de los fluidos como inexacta, siendo así que la inexactitud proviene de que ellos han querido hacer estensivas dichas fórmulas á casos para los que no están sacadas.

En el sentir de todos los Autores, las espresadas fórmulas (22) y (23) son aplicables á cualquier posicion que tenga la superficie del orificio, esto es, ya sea horizontal, ya vertical ó ya inclinado; pero yo suspendo el juicio sobre este aserto, al ménos hasta consultar á la esperiencia, cuando el orificio se halla inclinado al horizonte; pues como en este caso el centro de presion está (§ 517 Mec.) mas bajo que el centro de gravedad, debe ser mayor la velocidad y el gasto; y si los esperimentos no confirman esta idéa mia, será por las causas que hemos enunciado (90). No hemos hecho esta observacion en el (§ 6) en que se establece que la velocidad y por consiguiente el gasto es absolutamente independiente de la posicion del orificio, esto es, que se verifica ya cuando este sea vertical, ya cuando sea horizontal ó ya inclinado; porque aunque siempre se verifica que el centro de presion en la situacion oblicua está mas bajo que el centro de gravedad, no obstante como allí considerábamos los orificios muy pequeños, la diferencia que dicha posicion podía originar era tan corta, que no se puede hacer sensible, por estar comprendida en los límites de los demas errores que pueden causar las observaciones. Mas cuando los orificios sean considerables, y su posicion oblicua, en mi concepto, el valor que se debe tomar para h, en las ecuaciones (22) (23) y (24), no ha de ser la altura de la superficie del agua en el depósito *respecto del centro de gravedad del orificio*, *sinó respecto del centro de presion del mismo orificio*, el cual siempre está mas bajo que el centro de gravedad (§ 517 Mec.) cuando el orificio no es vertical, ni horizontal.

ducida en regla, nos dá la siguiente: *para encontrar en la situacion de Madrid el gasto de agua que producirá un orificio de una magnitud sensible con relacion á la superficie del depósito, se dividirá la carga por la diferencia entre la unidad y el cociente de dividir el cuadrado de la superficie del orificio por el cuadrado de la superficie del depósito; del cociente se estraerá la raiz cuadrada; esto se multiplicará por la superficie del orificio, por el número de segundos que esté saliendo el agua y por el número constante* 8,377935.

Ej. Apliquemos esta regla á la misma cuestion (§ 9) suponiendo que el depósito no presentase una superficie tan grande como la del estanque del Retiro, sinó otro estanque pequeño, cuya superficie supondrémos de 20 pies cuadrados; y como la superficie del orificio es 1 pie cuadrado, lo primero que deberémos hacer es dividir la carga que es 10 pies, por la diferencia entre 1, y el cociente de dividir el cuadrado de 1, que es 1, por el cuadrado de 20 que es (223 Ar. de N.) 400, y este cociente es 0,0025. Restándole de 1, resulta 0,9975; dividiendo la carga 10 por 0,9975, se obtiene 10,025062; cuya raiz cuadrada es 3,1662; que multiplicada por 1 superficie del orificio, da la misma cantidad: la cual multiplicada por 86164, segundos que tiene el dia, dá 272812,4568; y vuelta á multiplicar por el número constante 8,3780785 resulta por último para el gasto pedido 2285744 pies cúbicos; que contiene 2931 pies cúbicos mas que nos dió la citada cuestion del (§ 9), lo que en efecto debia verificarse: pues para que el depósito permanezca constantemente lleno, el agua debe llevar, al entrar en él, una velocidad sensible que aumentará la que tenga, solo por razon de la carga.

47 *Mr. Navier*, á continuacion de las tablas de *Mr. Belidor* de velocidades debidas á diferentes alturas, y alturas debidas á diferentes velocidades, pone otras calculadas por él, y espresadas en metros; pero nosotros debemos advertir que dichas tablas, así como las que los Autores de Hidráulica ponen análogamente, solo pueden servir para la localidad en que se han calculado; y así, en España por ningun título se puede hacer uso de las de *Belidor*, *Bossut*, *Prony*, *Genieys*, &c.; y para dar un ejemplo de ello, observarémos que la última altura que pone *Mr. Belidor* en su tabla del (§ 490) del primer tomo de su *Arquitectura hidráulica es que, á 15 pies de caida, corresponden 30 pies de velocidad por segundo.*

Y como la fórmula (ec. 6), sustituyendo 15 en vez de *h*, y 35,0961 en vez de *g*, nos da 32,4 para la velocidad, que contiene *cerca de dos pies y medio mas en un segundo*, se deduce que usando de dichas tablas, se podrían cometer errores enormísimos.

48 Cuando la vena del fluido, saliendo por un orificio lateral, no pasa al aire, sinó que va á parar á otro vaso que contiene fluido, hay un caso en que la estimacion de la altura á la cual será debida la velocidad teórica del fluido, podría presentar dudas. Sea *ba* (fig. 15) el nivel del fluido en el vaso superior, y *cd* el orificio. No puede haber ninguna dificultad cuando el nivel del fluido en el segundo vaso está en *ef* sobre el punto mas alto *c* del orificio; entónces la velocidad teórica se debe á la distancia *be* de los dos niveles, conforme á lo que se ha visto (41). Tampoco la hay cuando el fluido se mantiene en el segundo vaso á un nivel *mn* mas bajo que el estremo inferior *d* del orificio, y la velocidad teórica es entónces la misma que si el fluido pasase al aire. Pero cuando la altura *pq* de la superficie ó nivel del fluido, en el segundo vaso, es intermedia entre los puntos *c*, *d*, estremos superior é inferior del orificio, las reglas precedentes no pueden conducir al verdadero resultado. En este caso, lo mejor que se puede hacer, es concebir la altura del orificio dividida en dos partes *cp* y *pd*, por el plano de la superficie del fluido en el segundo vaso. Se calculará el gasto de la primera porcion *cp* como por un orificio, de que el agua saliese al aire libre. Acerca de la porcion *pd*, la velocidad será debida en él, á la altura *bp*. Se hará despues la suma de los dos resultados, y se tendrá el gasto total hecho por el orificio.

Cuando la superficie del agua en el vaso inferior, se halle en *pq*, la altura *cp* se denomina en las obras italianas sobre Hidráulica *altura viva*, *y* pd *altura muerta*.

Para resolver un ejemplo de este caso, elegirémos al mismo tiempo una figura de orificio que sea poligonal, y esté representada por un exágono, cuyo lado tenga 3 pulgadas; y que la superficie *pq* del líquido, pase por el centro del exágono, estando este colocado, de modo que tenga dos lados horizontales como representa la parte *ilrktsi*, de la misma figura, y dividirá por consiguiente la superficie *pq* del fluido á la del orificio en dos partes iguales.

En este caso, lo que debemos ante todas cosas determinar es la superficie del exágono. Para esto no hay mas que buscar en la tabla (nota del § 34) el número que corresponde al lado del exágono, y

encontramos 1,1547; y para la superficie, hallamos 3,4641. Ahora, para encontrar la superficie que corresponde al exágono cuyo lado es de 3 pulgadas, que equivalen á 0,25 de pie, formarémos la siguiente proporcion.

1,333 &c. (cuadrado del valor 1,1547 que corresponde al lado del exágono en la tabla) : 0,0625 (cuadrado de 0,25, lado del exágono de la cuestion) : : 3,4641 (superficie que en la tabla corresponde al exágono) : al cuarto término que hallo ser 0,16238 de pie cuadrado; y este número espresa la superficie del exágono, cuyo lado es 3 pulgadas.

La mitad de esta cantidad, que es 0,08119, representa la superficie de la parte del orificio que cubre el agua en el depósito de salida; y la otra mitad es la parte del orificio que sale al aire libre. Por consiguiente, suponiendo que la altura *bp* sobre el centro del orificio sea de 5 pies, tendrémos que averiguar la magnitud de *pc*, que es el radio recto del mismo polígono; y está espresada en este por *uz*; lo que conseguirémos por la tabla de la citada nota del (§ 34) formando la siguiente proporcion: 1,1547 (lado del exágono en la tabla) : 0,25 (lado del polígono de la cuestion) : : 1 (radio recto del exágono en la tabla) : al cuarto término, que espresará el radio recto del polígono de la cuestion, y resulta ser 0,2165; por lo cual la altura *db*, será 5 pies, mas 0,2165, que componen 5,2165 pies; y la altura *cb* será 5 pies, ménos 0,2165, que son 4,7835 pies.

Ahora tenémos que resolver dos cuestiones, á saber: una en que la superficie del orificio sea *istki*, que es 0,08119 de pie cuadrado; y la otra en que la superficie del orificio esté representada por *ilrki* tambien de 0,08119 de pie cuadrado.

Para determinar la carga con que debemos suponer que se halla comprimida el agua que sale por el *semi-orificio istki*, deberémos hallar ante todas cosas el centro de gravedad de dicha superficie, que siendo un trapecio, resulta que lo que dista el espresado centro de la base mayor del trapecio, se halla (§ 189 Mec.) *multiplicando el tercio de la línea que une los dos puntos medios de las bases paralelas por el cociente, que resulta de dividir la suma del lado mayor con el duplo del menor, por la suma del lado mayor con el menor.*

Ahora bien, el lado mayor es igual con el duplo del radio oblicuo; por lo que deberémos determinar el expresado radio oblicuo, en virtud de la regla contenida en la nota del (§ 34), ó teniendo presente que el radio oblicuo en el exágono es igual con el lado; lo que

nos da para dicho radio 0,25; su duplo será 0,5; y practicando la regla que acabamos de enunciar, dirémos, el tercio de la línea que une los puntos medios de las bases paralelas es el tercio del radio recto, esto es, 0,0722; este número le multiplico por el cociente 1,3333 &c. que resulta de dividir 1, suma del lado mayor con el duplo del menor, por 0,75, suma del lado mayor 0,5 con el menor 0,25 y encuentro 0,09626, que espresará la distancia del centro de gravedad de la parte *istki*, á la *ik* ó lo que es lo mismo, la distancia *xz*. Por consiguiente la *ux*, se hallará restando esta cantidad del valor del radio recto, y se tendrá 0,12024.

De aquí resulta, que la distancia del nivel *ab* del fluido al centro de gravedad del semi-orificio *istki*, será el valor de *cb*, que hemos hallado ser 4,7835, mas el valor 0,12024 de *xu*, que acabamos de encontrar; luego dicha distancia estará representada por 4,90374; y suponiendo que la operacion se ejecute en Manila, y que la evacuacion dure 10 horas, tendrémos que la fórmula (7) nos dará

$$36000 \times 0{,}08119 \times \sqrt{69{,}9782 \times 4{,}90374} = 54144 \text{ pies cúbicos.}$$

Para encontrar la cantidad de líquido que nos dará la parte *ilrki*, sustituirémos en la fórmula (7), en vez de *h* el valor de *bp*, que es 5 pies, y por *k* el número 0,08119 que representa la superficie de *ilrki*; lo cual nos dará para el gasto de lo que produzca dicha parte

$$36000 \times 0{,}08119 \sqrt{69{,}9782 \times 5} = 54672 \text{ pies cúbicos.}$$

Sumando ahora estos dos resultados, tendré por último, que el gasto total es 108816 pies cúbicos.

CAPÍTULO III.

Modificaciones ó correcciones que se deben hacer á las fórmulas anteriores, ya sea por el efecto de la contraccion de la vena fluida, cuando el orificio no tiene la forma embudada ó campaniforme, ó ya por estar el líquido en movimiento en los depósitos en que se hacen las aberturas ú orificios.

49 Hasta ahora hemos supuesto que la pared en las inmediaciones del orificio, tenía una forma embudada, parecida en cierto modo á la de una campana, con el objeto de que todos los filetes de moléculas fluidas, que se dirigen á él desde todas las partes del vaso

estanque ó depósito, conservasen, al atravesarlas, direcciones paralelas entre sí. En este caso, asegura *Mr. Navier*, apoyado en la esperiencia, que no hay que hacer ninguna reduccion sensible sobre el gasto calculado en virtud de las fórmulas anteriores, que dan lo que se denomina *gasto teórico*; pues que *Mr. Michelotti*, con orificios en que el embudamiento no era completo, solo ha encontrado diferencias de $\frac{1}{40}$, $\frac{1}{50}$ y aun mas pequeñas entre las velocidades efectivas y las teóricas, y por consiguiente entre los gastos efectivos y los teóricos.

Supongamos ahora que el fondo del vaso á través del cual se halla practicado el orificio, sea un plano horizontal, de poco espesor. La observacion ha enseñado que en esta posicion, las moléculas de fluido que descienden al principio desde la superficie con direcciones sobre poco mas ó ménos verticales, habiendo llegado cerca del fondo, se dirigen por todos lados hácia el orificio, como lo indican las líneas de puntos de la (fig. 16), que hemos tomado de la Hidrodinámica de *Daniel Bernoulli* por ser la primera que hemos visto representar el fenómeno con precision y exactitud.

Solo el filete fluido correspondiente al centro del orificio es el que conserva al atravesarle, una direccion vertical: todos los otros tienen direcciones tanto mas inclinadas, cuanto están mas cerca de las paredes del orificio. Mas como todos los filetes del fluido propenden á guardar, despues de salir del vaso, sus direcciones respectivas, se sigue que la vena ó chorro no puede conservar un diámetro igual al del orificio, y disminuye de grueso desde que parte de la seccion *ac*, hasta que los filetes, por el efecto de su reaccion mútua, hayan venido á ser todos verticales y paralelos; por manera, que el efecto de la convergencia de las direcciones de los filetes de moléculas, en el instante que ellas pasan por el orificio *ac*, es el de hacer angostar, estrechar ó contraer la vena ó chorro á cierta distancia del orificio; y este fenómeno se denomina *contraccion de la vena fluida*. El parage *ed*, en que esto sucede, dista de la pared segun Neuton una cantidad sobre poco mas ó ménos igual al diámetro del orificio cuando este último es muy pequeño. Cuando el orificio es mayor pasando de unas 10 líneas españolas, el parage donde la vena cesa de contraerse, está mas próximo de la pared y solo dista de ella como un semi-diámetro del orificio.

50 Si concebimos que se haya añadido á la pared del vaso, un tubo que tenga la misma forma que la vena contraida *adec* (fig. 16), de modo que la seccion *ed* haya venido á ser el orificio, entónces el movimiento del fluido no padecerá alteracion; y resultará un vaso en

que el orificio *ed*, tendrá su entrada embudada; y por consiguiente, para determinar su gasto, deberémos usar de la fórmula (7) si el orificio es muy pequeño en comparacion de la superficie del depósito; y si tiene ya tal magnitud, que su superficie sea la vigésima parte de la superficie del depósito, se deberá hacer uso de la fórmula (23). Esta conclusion se halla rigorosamente confirmada, y de muchas maneras, por la esperiencia.

51 Si se atiende á que la velocidad del fluido debe hallarse por todas partes en razon inversa de las superficies de las secciones (44), resultará que *la velocidad en ac*, es *á la velocidad en* ed, *como la superficie de la seccion* ed, es *á la superficie de la seccion* ac. De donde se deduce que *la relacion que tiene la seccion de la vena contraida con la superficie verdadera del orificio es la misma que tiene la velocidad efectiva, con la velocidad teórica* (*ó natural como la llama Belidor*) *ó del gasto efectivo con el gasto teórico.* Habiendo ya dado á conocer la naturaleza del fenómeno, solo falta consultar la esperiencia, para determinar su medida.

52 La cantidad de que la vena se contrae, despues de haber atravesado un orificio, parece depender principalmente de la convergencia mas ó ménos grande de los filetes del fluido en el instante en que ellas pasan por él, y no esclusivamente del rozamiento de las paredes del orificio, como supone *Belidor*. Si el orificio tiene la forma embudada (fig. 17), en que los filetes salen con direcciones paralelas, la contraccion es nula. No es considerable en el orificio cónico (fig. 18); es mayor en la (fig. 19) en que está abierto en una pared plana; es todavía mas grande en el orificio divergente (fig. 20); y en fin, es la mayor posible cuando el orificio (fig. 21) se halla formado por un tubo cilíndrico, introducido en lo interior del vaso. Sería de la mayor importancia, el que se la pudiese determinar en todos los casos por la forma de la pared; pero estamos muy distantes de poseer la resolucion de este problema; y la relacion del gasto efectivo al gasto teórico solo es bien conocida en un pequeño número de casos particulares.

53 Cuando el orificio está formado por un tubo que penetra en lo interior del vaso, es como se acaba de notar, cuando la contraccion es la mayor posible. Este caso forma, bajo cierto aspecto, una especie de límite, y esta circunstancia ha permitido á *Borda* el determinar teóricamente, y de una manera ingeniosa y exacta, la relacion del gasto efectivo al gasto teórico (Mem. de la Ac. 1766). Él la ha encontrado igual con $\frac{1}{2}$; y este resultado ha sido rigorosa-

mente confirmado no solo por sus propios esperimentos, sinó por los posteriores de *Venturi*. Luego se puede tener seguridad de que, para todos los orificios posibles, esta relacion se halla comprendida entre los límites 1 y $\frac{1}{2}$.

54 La impresion de mi *Mecánica* se verificó en 1817; y comprendí en ella todos los resultados que se habían obtenido por los esperimentos hechos hasta dicha época, indicando los que por aquel tiempo estaba ejecutando *Mr. Hachette*. Ahora debo añadir, que los adelantamientos posteriores, en vez de contrariar lo que yo espresé en dicha obra, lo confirman del modo mas rigoroso; y habiéndose publicado en 1819 una nueva edicion del primer tomo de la *Arquitectura Hidráulica de Mr. Belidor*, con notas y adiciones muy útiles é importantes de *Mr. Navier*, voy á insertar aquí lo que este Sabio ha añadido sobre tan interesante asunto ya porque está perfectísimamente acorde con mis idéas, y ya porque ha adquirido su doctrina mayor realce para mí, por las conferencias que *Mr. Navier* se ha servido tener conmigo sobre este particular. Las tres tablas, que inserté en los (§§ 575, 580 y 583), relativas á *coeficientes de contraccion* ó números constantes, por los cuales es necesario multiplicar el gasto teórico, esto es, el calculado por las fórmulas del capítulo segundo, para que resulte el que da la esperiencia, estaban tomadas de los esperimentos de *Mr. Bossut* y de los trabajos de *Mr. Prony*. En ellas, se espresa este coeficiente como correspondiendo á la altura absoluta; y tuve cuidado de espresar (§§ 579 y 581) que en los casos en que se quisiese mayor precision, en vez de los números 0,62 y 0,81, se debían tomar los números que en las respectivas tablas correspondiesen á la altura del agua en el depósito sobre el plano del orificio. *Mr. Bossut* ya entreveía que este coeficiente debía tener cierta dependencia no solo de la altura absoluta del agua, sinó tambien del diámetro del orificio y grueso de la pared del vaso ó longitud del tubo aditicio; pero se contentó con meras indicaciones de su recelo.

55 Todos los Autores, que se han ocupado en investigar las modificaciones que deben sufrir los gastos calculados por las fórmulas del capítulo segundo, que son las que como ya hemos insinuado, se llaman en los libros *gastos teóricos*, para convertirse en los que da la esperiencia, que se caracterizan con la denominacion de *gastos efectivos*, se han contentado con hacer una especie de division entre los gastos que producen los orificios abier-

tos en *paredes delgadas*, y los hechos por *tubos adilicios*, sin fijar de antemano los límites entre que se debía tomar la espresion de *pared delgada*; y sin especificar, por ejemplo, *que una pared de media línea de grueso, es una pared delgada para un orificio de dos ó tres pulgadas de diámetro, y el mismo grueso de pared no se debe considerar como pared delgada, sinó como tubo adicional, respecto de un orificio de $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{5}$ de línea de diámetro.*

Pero en las importantes notas y adiciones que *Mr. Navier* ha insertado en la citada obra de *Belidor*; merecen, en mi concepto, un lugar muy distinguido y preferente los resultados que presenta sobre la contraccion de la vena fluida. Este apreciable Sabio toma en consideracion todos los esperimentos hechos hasta aquella época, calcula los coeficientes que resultan de los de *Mariotte*, que este no dedujo, y presenta en la nota (ck) págs. 288 y 289 la siguiente

Tabla primera de los efectos de contraccion de la vena fluida. Contiene los coeficientes de contraccion correspondientes á la relacion que tiene la altura absoluta del agua en el depósito con el diámetro del orificio.

Diferencias.		La relacion del gasto efectivo al teórico, ó lo que se llama *coeficiente de contraccion* es	Diferencias.
	Cuando la altura de la carga es mas de 200 veces el diámetro del orificio, la relacion del gasto efectivo al gasto teórico es. .	0,615	
100	Cuando esta altura equivale á 100 veces este diámetro es.	0,618	0,003
90	Cuando es 10 veces.	0,620	0,002
1	9 veces.	0,621	0,001
1	8 veces.	0,622	0,001
1	7 veces.	0,623	0,001
1	6 veces.	0,625	0,002
1	5 veces.	0,627	0,002
1	4 veces.	0,630	0,003
1	3 veces.	0,633	0,003
1	2 veces.	0,637	0,004
1	1 vez.	0,642	0,005
0,9	En fin, cuando esta altura solo esceda al diámetro en $\frac{1}{10}$ ó $\frac{1}{12}$, .	0,650	0,008

Yo he añadido la primera y cuarta columna para el uso que despues manifestaré.

56 Los resultados precedentes están fundados en esperimentos en que los orificios han tenido hasta cerca de 7 pulgadas españolas de diámetro; y asegura *Mr. Navier* que se pueden aplicar á orificios circulares, cuadrados ó rectangulares, que tengan hasta cerca de 9 pulgadas de diámetro medio, casi con tanta exactitud como las de los mismos esperimentos. Acerca de los orificios un poco mas considerables, asegura tambien *Mr. Navier*, que puede servir la tabla anterior sin esponerse á errores peligrosos en las aplicaciones. Añade que no tiene ningun hecho contrario á esta asercion y que son muchos los que la confirman, de los que cita algunos con referencia á la obra de *Mr. Andreossi*, intitulada *Historia del Canal del medio dia*, que suele tambien llamarse *Canal Real*, ó *Canal de Languedoc*, y á observaciones de *Mr. Lapeyre* sobre el movimiento del agua á traves de las puertas de la esclusa del viejo depósito del Havre.

Mr. Navier hace mencion tambien de una círcunstancia notable que ofrecen las observaciones hechas en el *Canal de medio dia*, y es, que si dos orificios, próximos el uno al otro, están abiertos almismo tiempo, cada uno parece suministrar menor gasto que cuando está abierto él solamente.

57 *Mr. Navier* presenta despues los resultados de los esperimentos que *Mr. Michelotti* ha hecho con la mira de fijar la influencia de la longitud del tubo sobre el gasto; y como los espresados resultados son de la mayor importancia, los insertarémos en la siguiente

Tabla segunda de los efectos de contraccion de la vena fluida. Contiene la relacion del gasto efectivo al gasto teórico, ó el coeficiente de contraccion que corresponde segun la relacion de la longitud del tubo, ó grueso de la pared con el diámetro del orificio.

Diferencias.	Cuando la longitud del tubo es:	La relacion del gasto efectivo al gasto teórico ó el *coeficiente de contraccion* se ha encontrado ser	Diferencias.
½=0,5	Nula, esto es, cuando la abertura termina en un punto como la de la (fig. 16)....	0,6096	0,0073
½=0,5	½=0,5 del diámet.	0,6169	0,0502
1	1 diámetro.	0,7671	0,0486
½=0,5	2 diámetros. . .	0,8157	0,0064
½=0,5	2½=2,5 diámetr.	0,8221	0,0020
1	3 diámetros. . . .	0,8201	0,0022
1	4 diámetros. . .	0,8179	0,0084
1	5 id.	0,8095	0,0025
1	6 id.	0,8070	0,0038
1	7 id.	0,8032	0,0035
1	8 id.	0,7997	0,0034
1	9 id.	0,7963	0,0033
1	10 id.	0,7930	0,0032
1	11 &c. id.	0,7898	0,0032
1	12	0,7866	0,0031
1	13	0,7835	0,0031
1	14	0,7804	0,0031
1	15	0,7773	0,0030
1	16	0,7743	0,0030
1	17	0,7713	0,0030
1	18	0,7683	0,0030
1	19	0,7653	0,0029
1	20	0,7624	0,0029
1	21	0,7595	0,0029
1	22	0,7566	0,0029
1	23	0,7537	0,0029
1	24	0,7508	0,0029
1	25	0,7479	0,0028
1	26	0,7451	0,0028
1	27	0,7423	0,0028
1	28	0,7395	0,0028
1	29	0,7367	0,0028
1	30	0,7339	0,0028
1	31	0,7311	0,0028
1	32	0,7283	0,0028
1	33	0,7255	0,0028
1	34	0,7227	0,0027
1	35	0,7200	0,0027

Sigue la tabla anterior.			
1	36	0,7173	0,0027
1	37	0,7146	0,0027
1	38	0,7119	0,C027
1	39	0,7092	0,0027
1	40	0,7065	0,0027
1	41	0,7038	0,0027
1	42	0,7011	0,0027
1	43	0,6984	0,0027
1	44	0,6957	0,0027
1	45	0,6930	0,0027
1	46	0,6903	0,0027
1	47	0,6876	0,0027
1	48	0,6849	0,0027
1	49	0,6822	0,0026
1	50	0,6796	0,0026
1	51	0,6770	0,0026
1	52	0,6744	0,0026
1	53	0,6718	0,0026
1	54	0,6692	0,0026
1	55	0,6666	0,0026
1	56	0,6640	0,0026
1	57	0,6614	0,0026
1	58	0,6588	0,0026
1	59	0,6562	0,0026
1	60	0,6536	0,0026
1	61	0,6510	0,0026
1	62	0,6484	0,0026
1	63	0,6458	0,0026
1	64	0.6432	0,0026
1	65	0,6406	0,0026
1	66	0,6380	0,0026
1	67	0,6354	0,0026
1	68	0,6328	0,0026
1	69	0,6302	0,0026
1	70	0,6276	0,0026
1	71	0,6250	0,0026
1	72	0,6224	0,0026
1	73	0,6198	0,0026
1	74	0,6172	0,0025
1	75	0,6147	0,0025
1	76	0,6122	0,0025
1	77	0,6097	0,0025

Sigue la tabla anterior.

1	78 diámetros.	0,6072	0,0025
1	79 id.	0,6047	0,0025
1	80	0,6022	0,0025
1	81	0,5997	0,0025
1	82	0,5972	0,0025
1	83	0,5947	0,0025
1	84	0,5922	0,0025
1	85	0,5897	0,0025
1	86	0,5872	0,0025
1	87	0,5847	0,0025
1	88	0,5822	0,0025
1	89	0,5797	0,0025
1	90	0,5772	0,0025
1	91	0,5747	0,0025
1	92	0,5722	0,0025
1	93	0,5697	0,0025
1	94	0,5672	0,0025
1	95	0,5647	0,0025
1	96	0,5622	0,0025
1	97	0,5597	0,0025
1	98	0,5572	0,0025
1	99	0,5547	0,0025
1	100	0,5522	0,0025
1	101	0,5497	0,0025
1	102	0,5472	0,0025
1	103	0,5447	0 0025
1	104	0,5422	0,0025
1	105	0,5397	0,0025
1	106	0,5372	0,0025
1	107	0,5347	0,0025
1	108	0,5322	0,0025
1	109	0,5297	0,0024

Sigue la tabla anterior.

1	110	0,5273	0,0024
1	111	0,5249	0,0024
1	112	0,5225	0,0024
1	113	0,5201	0,0024
1	114	0,5177	0,0024
1	115	0,5153	0,0024
1	116	0,5129	0,0024
1	117	0,5105	0,0023
1	118	0,5082	0,0023
1	119	0,5059	0,0022
1	120	0,5037	0,0021
1	121	0,5016	0,0021
1	122	0,4995	0,0020
1	123	0,4975	0,0019
1	124	0,4956	0,0019
1	125	0,4937	0,0018
1	126	0,4919	0,0017
1	127	0,4902	0,0017
1	128	0,4885	0,0016
1	129	0,4869	0,0015
1	130	0,4854	0,0015
1	131	0,4839	0,0014
1	132	0,4825	0,0014
1	133	0,4811	0,0013
1	134	0,4798	0,0012
1	135	0,4786	0,0011
1	136	0,4775	0,0011
1	137	0,4764	0,0010
1	138	0,4754	0,0009
1	139	0,4745	0,0009
1	140	0,4736	

El diámetro del tubo, que sirvió para estos esperimentos, tenía 2 pulgadas y 4 líneas españolas, y la carga ó altura era de unos 8 pies españoles. La primera y cuarta columna las he añadido yo para el uso que voy á manifestar.

Mr. Navier solo presenta esta tabla prolongada hasta cuando la relacion es 8 veces el diámetro; esto es, hasta el caso en que la longitud del tubo ó grueso de la pared es *ocho veces* mayor que el diámetro del mismo tubo; yo la he prolongado siguiendo aproximadamente la ley de los resultados que presenta *Mr. Navier* hasta el caso en que la longitud del tubo equivale á 140 veces el diámetro del mismo, para llenar un hueco que se halla en el estado actual de la ciencia, entre la evacuacion por tubos adicionales y el movimiento de las aguas en los encañados y tubos de conduccion, sobre lo cual nos

detendrémos lo suficiente en el capítulo noveno del presente libro, para enlazar este punto con aquel, y determinar la línea de demarcacíon que nos deba servir de norma para averiguar el gasto, ya considerando el tubo como adicional y determinando el coeficiente de contraccion que le corresponde, ó ya valiéndose, para determinar el gasto, de las fórmulas que sirven para el movimiento de las aguas en las cañerías ó tubos de conduccion.

58 Los resultados que contiene la tabla precedente, manifiestan que es necesario que el tubo tenga una longitud, al ménos igual á su diámetro, para que haga aumentar el gasto. Cuando su longitud es mas pequeña, el agua no corre á caño lleno; la vena se aparta de las paredes del tubo, y el desagüe se hace absolutamente del mismo modo que por un orificio hecho en una pared delgada: lo que va tambien conforme con los esperimentos de *Bossut*.

59 Por la tabla precedente aparece que el mayor aumento de gasto, que el tubo aditicio puede causar, se verifica cuando su longitud es dos veces y media ó tres veces su diámetro. Alargando mas el tubo, el gasto disminuye; lo que no puede ménos de provenir del rozamiento del fluido sobre sus paredes. Por lo demas resulta de lo que precede, que *para estimar en las aplicaciones el gasto de un orificio prolongado por un tubo aditicio cilíndrico que tenga una longitud de dos ó tres veces el diámetro de este orificio, es necesario tomar los* 0,82 *del gasto teórico calculado.* Tambien es necesario advertir que todos los resultados precedentes sobre el modo de valuar el efecto de la contraccion, y la comparacion del gasto efectivo con el teórico se verifican del mismo modo, cualquiera que sea la situacion del plano del orificio y la direccion del chorro del fluido; ya sea que el desagüe se verifique en el aire ó en un vaso lleno de fluido ó en un parage donde haya diferente presion que en la superficie del depósito.

Como el objeto de todas las investigaciones científicas es el deducir reglas fáciles para la práctica, que disminuyan las penalidades del género humano, debemos llamar la atencion acerca de una *consecuencia* importante, que nos suministra la doctrina que acabamos de esponer. Si estuviese bien determinada cual debe ser la curva que debe afectar á la parte embudada de un orificio para que, saliendo los filetes de agua con direcciones paralelas, no sufriese contraccion la vena fluida ó chorro, yo opinaría que por punto general debíamos adoptar la forma embudada en toda clase de orificios; pues de este modo teníamos un elemento ménos que tomar en consideracion, y

se conseguía el objeto con mayor sencillez; pero como todo lo que existe acerca de la forma de este embudamiento se viene á reducir á tantéos, y por otra parte, yo dudo mucho que, á pesar de todos los esfuerzos imaginables, se llegue á estinguir de todo punto el citado fenómeno de la contraccion, soy de dictámen, para conciliar la mayor sencillez con el resultado conocido por mas exacto, que se debe adoptar por punto general, para la salida del agua de los depósitos ó vasos en que se halle contenida, el poner en los orificios un tubo cilíndrico cuya longitud fuese igual á dos veces y media su diámetro; pues esta longttud es por la tabla anterior, la que origina menor contraccion; y por consiguiente, la que, á igualdad de diámetro del orificio de salida, suministra mayor cantidad de líquido.

Tambien se podría adoptar, que el tubo aditicio terminase en un trozo de cono, cuyo diámetro inferior ó de la pequeña base fuese 1, el de la base mayor 1,24, y la distancia entre las dos bases del cono truncado fuese 0,75; pues en este caso se puede obtener un gasto efectivo, que sea los $\frac{9}{10}$ ó 0,90 del teórico.

60 Sin embargo de esto, en las aplicaciones que hagamos, supondrémos diferentes longitudes á los tubos adicionales, y determinarémos el coeficiente de contraccion que corresponda por medio de las dos tablas anteriores, que son de la mayor importancia; pues con su auxilio podemos ya establecer reglas mas seguras para determinar los gastos. Y aunque desearíamos se hiciesen nuevos esperimentos, en que cada resultado de la tabla segunda se hiciese variar á las diferentes alturas que se espresan en la tabla primera, y que los valores de esta se aproximasen con cuatro guarismos decimales, sin embargo, mientras se practican, teniendo en consideracion las variaciones de la fuerza de la gravedad y demas circunstancias que tengo indicadas (§ 90 libr. 2.º), el método mas aproximado á la verdad, para determinar la contraccion, es en mi concepto el que sigue.

La tabla segunda está formada en virtud de esperimentos en que el diámetro del tubo tenía dos pulgadas y cuatro líneas españolas, y la altura ó carga era de cerca de 8 pies españoles; por consiguiente aqui la carga equivale aproximadamente á 41 veces el diámetro del orificio.

61 Si observamos la tabla primera, verémos que la diferencia entre el resultado correspondiente á una carga igual á 200 veces el diámetro del orificio y la igual á 100 veces el mismo diámetro, es solo 3 milésimas; y la diferencia entre *el coeficiente de contraccion*, que corresponde á una carga igual á 100 veces el diámetro y el cor-

respondiente á la igual á 10 veces el mismo, es 2 milésimas. Por consiguiente, siendo esta diferencia tan pequeña, podrémos sin error sensible suponerlas proporcionales á las relaciones de las cargas con el diámetro; por lo que, para encontrar el correspondiente á 41 veces la carga, formaré la siguiente proporcion, 90 (diferencia que encuentro en la primera columna de la tabla primera correspondiente á las dos relaciones 100 y 10 entre que se halla la 41): á 0,002 (diferencia que en la cuarta columna de la misma tabla corresponde á los coeficientes de contraccion que pertenecen á las mismas relaciones) :: 31 (esceso de la relacion 41 de la cuestion, sobre la 10, que mas se le aproxima en la tabla): al cuarto término, que hallo ser 0,0006888 &c.; y tomo 0,0007 por valor aproximado; el cual lo resto del valor 0,620, que se halla en dicha tabla, correspondiente á la relacion 10, por ser el mayor de los que corresponden á aquellos entre que se halla la relacion de la cuestion, y encuentro 0,6193.

Con este conocimiento, *para encontrar el coeficiente mas aproximado al de la verdadera contraccion, atendiendo á la relacion que tiene la longitud del tubo aditicio con su diámetro, y á la de la carga con el mismo diámetro, se procederá del modo siguiente: Búsquese en la tabla segunda el coeficiente de contraccion, que corresponde al número que espresa la relacion entre la longitud del tubo aditicio y su diámetro. Si esta relacion de la longitud del tubo de la cuestion con su diámetro no fuese igual á ninguna de las contenidas en dicha tabla se tomará el valor del coeficiente que corresponda á la relacion que mas se aproxime en la tabla; y para encontrar la parte proporcional correspondiente, se formará la siguiente proporcion.*

La diferencia de las dos relaciones consecutivas entre que se halla la relacion de la cuestion (*cuya diferencia se encuentra en la primera columna de la espresada tabla segunda*) es á *la diferencia correspondiente de los valores de los coeficientes de contraccion* (*que es la que se halla en la cuarta columna de la misma tabla*), como *la diferencia entre la relacion de la cuestion y la que mas se le aproxime en dicha tabla*, es al *cuarto término que resulte; el cual se deberá añadir al coeficiente tomado, si este es el menor, y se deberá restar si este es el mayor*: con lo que se tendrá el coeficiente de contraccion que corresponde por la relacion de la longitud del tubo con su diámetro.

Búsquese, despues, en la tabla primera el coeficiente que corresponde al número de veces que espresa la relacion de la carga

con el diámetro del orificio que mas se aproxime á la relacion de la cuestion; y para averiguar lo que le pertenece por la fraccion que pueda haber en dicha relacion, se formará la siguiente regla de tres ó proporcion: la diferencia que se halla en la primera columna de la tabla primera correspondiente á las dos relaciones de las cargas entre que se halla la relacion de la cuestion, es á *la diferencia de los coeficientes de contraccion correspondientes, que se halla en la cuarta columna de la misma tabla*, como *la diferencia que hay entre la relacion de la cuestion y la que mas se le aproxima en dicha tabla*, es al *cuarto término; y lo que se encuentre, se añadirá al coeficiente de contraccion que mas se le aproxima, si este es el menor, ó se restará de él si es el mayor.* Con lo cual, se tendrá el coeficiente que corresponde por la relacion de la carga con el diámetro del orificio.

Para encontrar ahora el resultado final, teniendo en consideracion ambas relaciones, se formará la siguiente proporcion: 0,6193 (*que es la relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos practicados*) es al *coeficiente de contraccion que corresponde por la relacion de la longitud del tubo con su diámetro* (*que hemos obtenido por medio de la tabla segunda*), como *el coeficiente de contraccion que corresponde á la relacion de la carga con el diámetro del tubo, y que hemos obtenido por medio de la tabla primera* es al *verdadero coeficiente, ó al ménos al mas aproximado, que corresponde á los datos de la cuestion en el estado actual de los conocimientos hidráulicos.*

1.er *Ej.* Supongamos que se tenga un orificio, cuyo diámetro sea 4 pulgadas, al cual se adapte un tubo de 8 pulgadas de largo y que la carga sea de 28 pulgadas. Aquí observaré que la relacion de la longitud del tubo á su diámetro es 2; pues la longitud 8 pulgadas del tubo equivale á dos veces el diámetro 4 pulgadas del mismo tubo; por lo que debo tomar en la tabla segunda el coeficiente de contraccion 0,8157. Y no tengo que formar la primera proporcion que dice la regla, porque la relacion de la cuestion se halla exactamente en la tabla.

Ahora, busco en la tabla primera el coeficiente que corresponde á ser la carga 7 veces el diámetro (pues 28 pulgadas contienen 7 veces á las 4 pulgadas), y obtengo el coeficiente 0,623, sin necesidad de formar la segunda proporcion de tal regla; por lo que, paso á formar la tercera proporcion, de este modo 0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,8157

(coeficiente que corresponde á la relacion de la longitud del tubo de la cuestion con su diámetro) : : 0,623 (coeficiente de contraccion que corresponde á la relacion de la carga con el diámetro) : al cuarto término, que hallo ser 0,8206; y este es el coeficiente definitívo que deberémos elegir; ó al ménos el que mas debe aproximarse al verdadero en virtud de los conocimientos del dia.

62 Elijamos por 2.º ejemplo, uno que presente la mayor complicacion, de que el caso sea susceptible, y al que debamos aplicar la regla en todas sus partes. Con este objeto, supongamos un orificio que tenga 6 pulgadas de diámetro con un tubo aditicio de 7 pulgadas de largo, y en que la carga sea 26 pulgadas; cuyos datos los hemos elegido de modo que sean aquellos en que las tablas presenten las mayores diferencias.

Al aplicar la regla, debemos observar, que como la relacion de 7 pulgadas con 6, es $1\frac{1}{6}$, el número que mas se aproxima en la tabla, es cuando la longitud del tubo es una vez el diámetro; lo que da 0,7671 para el coeficiente de contraccion que corresponde por la tabla segunda.

Ahora dirémos, 1 (diferencia de las dos relaciones de la tabla segunda entre que se halla la relacion $1\frac{1}{6}$ de la cuestion) : 0,0486 (diferencia que en la cuarta columna de la misma tabla se halla entre los coeficientes de contraccion correspondientes á las mencionadas relaciones) : : $\frac{1}{6}$ (diferencia entre la relacion de la cuestion $1\frac{1}{6}$, y 1, que es la que mas se le aproxima) : al cuarto término; que resulta ser 0,0081; cuyo valor debo añadir á los 0,7671, porque la relacion de la tabla es menor que la de la cuestion, y obtengo 0,7752.

Ahora, la carga ó altura de 26 pulgadas equivale á 4 *veces el diámetro y un tercio*; por lo que tomarémos en la tabla primera el coeficiente 0,630 que corresponde á la relacion 4 á que mas se aproxima la de la cuestion; y para hallar lo que corresponde por el $\frac{1}{3}$ de vez de diámetro, de que se compone la relacion de la carga en la cuestion con su diámetro, diré, 1 (diferencia que hallo en la primera columna de la tabla primera entre las relaciones 4 y 5) : 0,003 (diferencia que se halla en la cuarta columna de la misma tabla correspondiente á las mismas relaciones) : : $\frac{1}{3}$ (esceso que la relacion $4\frac{1}{3}$ lleva á la 4, que es la que mas se le aproxima en la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,001, que debo restar del 0,630, porque á mayor carga disminuye el coeficiente de contraccion, y obtengo 0,629.

Ahora, formaré la última proporcion de este modo 0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,7752 (coeficiente que corresponde á la relacion de la longitud del tubo de la cuestion con su diámetro) : : 0,629 (coeficiente de contraccion que corresponde á la relacion de la carga con el diámetro de la cuestion) : al cuarto término, que resulta ser 0,7873; y este es el coeficiente que definitivamente se debe elegir como mas aproximado al verdadero, en el estado actual de los conocimientos hidráulicos sobre esta materia.

63 El método, que acabamos de manifestar, no deja ya ninguna incertidumbre, para el caso en que los orificios sean circulares, sinó la que puede provenir de la mayor ó menor exactitud con que se hayan hecho los esperimentos; y cuando estos se practiquen del modo que hemos insinuado (90 lib. 2.°), me parece que el procedimiento, que acabamos de esplicar, conducirá á la exactitud conveniente; pues aunque las tres proporciones que contiene dicho procedimiento, no son rigorosamente exactas, no obstante, el error que ellas puedan originar no influye en ninguno de los guarismos decimales que contienen las tablas, y por lo mismo dicho procedimiento se debe considerar como suficientemente aproximado; y repetimos que, para perfeccionar esta materia, solo falta el que se practiquen esperimentos numerosos y adecuados en la forma que se ha dicho (90 lib. 2°); y si pudiesen hacerse en nuestro pais, produciría esto ventajas considerables.

Se deberían tambien hacer esperimentos acerca de la contraccion, cuando los orificios no fuesen circulares; y mientras no se tengan, podemos hacer uso de estas tablas, aun cuando el orificio no sea circular, *tomando en las figuras cuadradas un valor medio proporcional aritmético entre la diagonal y el lado del cuadrado por valor equivalente al diámetro análogo si el orificio fuese circular. Cuando el orificio sea rectangular, un medio proporcional aritmético entre el lado mayor y menor del rectángulo; cuando sea poligonal, un medio proporcional aritmético entre el duplo del radio recto y el duplo del radio oblícuo del polígono, ó lo que es mas simple, tomando la suma del radio recto con el radio oblícuo.*

64 Como este modo de hallar lo mas rigorosamente posible en la actualidad el coeficiente de contraccion, es nuevo enteramente; pues todo él es fruto de mis investigaciones propias, es de la mayor importancia el hacer numerosas aplicaciones, para que el

lector, familiarizado con el competente número de ejemplos, adquiera la suficiente destreza para poder resolver los que en lo sucesivo le ocurran.

Por esta razon, vamos á resolver ahora gran parte de los ejemplos, que ya tenemos resueltos para cuando la figura del orificio tenía la forma embudada, sin mas diferencia en los datos, que suponer conocido el grueso de la pared del orificio, ó longitud del tubo adicional que se considere, en vez de suponer la forma embudada.

65 Principiemos, pues, por el ejemplo resuelto (§ 9); y supongamos que en vez de tener el orificio la forma embudada, esté hecho en el fondo del estanque en una losa de piedra de 9 pulgadas de grueso.

En este caso, como (239 Ar. de N.) *un pie cuadrado es lo mismo que un pie en cuadro*, tendré que el lado del cuadrado será un pie. Y como, al cuadrado de 1 pie de lado, corresponde, segun la tabla de la nota del (§ 34), un radio recto de 0,5 de pie, y un radio oblicuo de 0,7071 de pie; sumando estos dos valores (63), tendré 1,2071 pies para el diámetro equivalente á si el orificio fuese circular. Ahora, como el grueso de la pared del orificio es 9 pulgadas ó bien $\frac{9}{12}$ de pie, que equivalen á $\frac{3}{4}$ de pie ó á 0,75 de pie, espresando el quebrado en fraccion decimal, resulta que la relacion de 0,75 con 1,2071 es 0,6213, que equivaliendo á poco mas de la mitad del diámetro, deberé tomar por primer coeficiente aproximado de contraccion, el que corresponde en la tabla segunda á la relacion $\frac{1}{2}$ del diámetro que es 0,6169. Y como la relacion 0,6213 escede á la de $\frac{1}{2}$ ó 0,5, en 0,1213, formaré la primera proporcion que dice la regla (61) del modo siguiente.

0,5 (diferencia que hallo en la primera columna de la tabla segunda correspondiente á las relaciones $\frac{1}{2}$ y 1 de la longitud del tubo con su diámetro) : 0,0502 (diferencia de los coeficientes de contraccion que se halla en la cuarta columna de dicha tabla, correspondiente á las mismas relaciones) : : 0,1213 (diferencia entre la relacion de la cuestion 0,6169 y la $\frac{1}{2}$ ó 0,5, que es la que mas se le aproxima en la tabla) : al cuarto término, que hallo ser 0,0122. Añadiendo esto al coeficiente 0,6169 que tomé primero, tendré 0,6291.

Ahora, siendo la carga 10 pies y 1,2071 pies el valor que se puede reputar equivalente al diámetro si el orificio fuese circular, resulta que la relacion de la carga al diámetro es 8,2843; y la relacion de la tabla primera que mas se aproxima es la 8, cu-

yo coeficiente de contraccion es 0,622; y para averiguar la parte proporcional que se le debe quitar, pues es mayor que el coeficiente que corresponde á 9, dirè

1 (diferencia de la primera columna de la tabla primera correspondiente á las dos relaciones entre que se halla la de la cuestion) : 0,001 (diferencia correspondiente en la cuarta columna de la misma tabla) : : 0,2843 (esceso que la relacion de la cuestion lleva á la relacion que mas se le aproxima en la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,0002843; cuyo valor restado del 0,622 por ser el coeficiente mayor de los dos que se hallan en la tabla, obtengo 0,6217.

Para encontrar ahora el resultado definitivo, diré segun la última parte de la regla (61) 0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,6291 (coeficiente que hemos obtenido atendiendo á la relacion del grueso de la pared con el orificio, por la tabla segunda) : : 0,6217 (coeficiente que hemos obtenido atendiendo á la relacion de la carga con el diámetro del orificio por la primera tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,6315 que es el coeficiente definitivo de contraccion.

De dos distintas maneras se suele interpretar el sentido de lo que espresa el coeficiente de contraccion, y ambas conducen á un mismo resultado. En efecto, el coeficiente de contraccion 0,6315 que acabamos de hallar nos dice, ó que la relacion del gasto teórico al gasto efectivo es la de 1 á 0,6315, ó que si espresamos por 1 la superficie del orificio, la de la vena contraida lo está por 0,6315.

Para tener en consideracion su efecto, deberémos ó multiplicar el el gasto hallado sin atender á la contraccion por el espresado coeficiente, ó multiplicar por dicho coeficiente la superficie del orificio para encontrar la verdadera, y determinar despues en virtud de esta superficie efectiva el verdadero gasto. Por lo que, para encontrar el gasto que buscamos atendiendo al fenómeno de la contraccion, podrémos hacerlo, bien sea multiplicando por 0,6315 el gasto 2282813 obtenido (§ 9) para Madrid, ó multiplicando por 0,6315 el valor de k en la (ec. 7).

Ambos métodos conducen á multiplicar el valor 2282813 por 0,6315; lo que da por resultado 1441596 pies cúbicos; y este será el verdadero gasto atendiendo al fenómeno de la contraccion de la vena fluida.

66 Supongamos que en Búrgos el mismo orificio estuviese hecho en una plancha metálica, cuyo grueso fuese 3 líneas. En este caso,

como todos los demas datos son los mismos que para la cuestion de Madrid, el término medio proporcional aritmético que represente al diámetro del orificio si fuese circular, será 1,2071; y la relacion del grueso de la pared del orificio con el espresado diámetro será

$$\frac{3 \text{ líneas}}{1{,}2071 \text{ pies}}$$, ó lo que es lo mismo la de $\frac{3}{144}$ de pie á 1,2071 pies, ó bien la de $\frac{1}{48}$ de pie á 1,2071, que es 0,017.

Ahora, la relacion que mas se acerca en la tabla segunda, es la relacion nula, esto es, el límite de toda relacion, que es cuando el grueso de la pared sea el menor posible y se aproxime cuanto se quiera á ser un punto matemático ó cero. En su consecuencia, tomo el coeficiente de contraccion que corresponde á la relacion nula de la tabla que es 0,6096; y para hallar la parte proporcional que le corresponde, plantearé la primera proporcion de la regla (61), del modo siguiente.

$\frac{1}{2}$ ó 0,5 (diferencia de las dos relaciones consecutivas de la tabla segunda entre que se halla la relacion de la cuestion) : 0,0073 (diferencia de los coeficientes que corresponden á las mismas relaciones en la cuarta columna de la espresada tabla) :: 0,017 (diferencia entre la relacion de la cuestion, y la que mas se le aproxima en la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,000248; cuyo valor añado al coeficiente 0,6096 que tomé primero de la tabla, y obtengo 0,609848.

Ahora, para encontrar el coeficiente atendiendo á la relacion de la carga con el diámetro del orificio, observo, que dicha relacion es la misma que en el caso anterior, pues los datos no varían; y por consiguiente se hallará representada por 8,2843; luego deberémos obtener el mismo resultado que hallamos en el espresado caso anterior, á saber 0,6217.

Y para encontrar el coeficiente definitivo, formaré la siguiente proporcion

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,609848 (coeficiente que hemos hallado por la tabla segunda) :: 0,6217 (coeficiente obtenido por la tabla primera) : al cuarto término, que resulta ser 0,6122; el cual espresa el coeficiente definitivo de contraccion para la espresada cuestion; y como (16) el gasto en Búrgos es 2283053 pies cúbicos, resulta que, para encontrar el verdadero gasto, atendiendo al fenómeno de la contraccion, se de-

berá multiplicar este resultado por el coeficiente que acabamos de obtener y el gasto efectivo será

$Q=2283053\times0{,}6122=1397685$ pies cúbicos.

67 Supongamos que, en el ej. resuelto (§ 37), el orificio no tenga la forma embudada, sinó que sea cilíndrico y salga el agua por un tubo de 15 pulgadas de longitud, y que los demas datos sean los que allí hemos espresado.

En este caso, la relacion de la longitud del tubo con su diámetro es 7,5. Por consiguiente, se halla igualmente distante de los valores 7 y 8 de la segunda columna de la tabla segunda y podré tomar el coeficiente que corresponda á cualquiera de ellos; elegiré el 0,8032 que corresponde á la relacion 7. Y para encontrar la parte proporcional, tomo desde luego la mitad de la diferencia 0,0035, que aproximada por esceso, es 0,0018; y restándola del 0,8032, porque es el mayor, tengo 0,8014 para el coeficiente de contraccion atendiendo á la relacion de la longitud del tubo con su diámetro.

Para encontrar el correspondiente por razon de la relacion de la carga con el mismo diámetro, observo que siendo 4 pies la carga y el diámetro 2 pulgadas, dicha relacion es la que tienen 4 pies con 2 pulgadas, ó 48 pulgadas con 2 pulgadas, que es 24. Y como en la tabla primera la relacion que mas se aproxima á la de la cuestion es 10, tomaré 0,620 por primer coeficiente aproximado de contraccion; y para encontrar la parte proporcional que le corresponde formaré la siguiente proporcion

90 (diferencia que se halla en la primera columna de la tabla primera correspondiente á las dos relaciones de las cargas entre que se halla la relacion 24 de la cuestion) : á 0,002 (diferencia de los coeficientes de contraccion que les corresponden) :: 14 (esceso que la relacion 24 de la cuestion lleva á la 10 que mas se le aproxima en dicha tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,00031; que debo restar del 0,620, y hallo 0,61969. Y para encontrar el coeficiente definitivo, formaré la tercera proporcion de la regla (61), en estos términos

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,8014 (coeficiente que hemos obtenido atendiendo á la relacion de la longitud del tubo con su diámetro) :: 0,61969 (coeficiente que acabamos de hallar, correspondiente á la relacion de la carga con el mismo diámetro) : al cuarto término, que espresará el coeficiente definitivo de contraccion; y resulta ser 0,8019; y por este valor, es por el que debo multiplicar el resultado 3948 pies cú-

bicos, que hemos obtenido allí; y nos resultará por último que el verdadero gasto, atendiendo á la contraccion, es 3166 pies cúbicos.

68 En los ejemplos resueltos hasta ahora, los efectos de contraccion han influido en el resultado final; porque la superficie del orificio entraba como factor, sencillamente en las fórmulas del gasto; pero como esto no sucede siempre, debemos establecer por punto general, que *para hacer la correccion conveniente, por el fenómeno de la contraccion de la vena fluida*, lo que se debe ejecutar siempre, es *determinar ante todas cosas el verdadero coeficiente por la regla establecida* (61); *y despues multiplicar por este coeficiente hallado la superficie del orificio, que hemos espresado en general, cuando la figura es rectilínea por* k, *ya se halle dicha letra en la fórmula por dividendo, ya por divisor ó ya debajo de cualquier radical; y cuando los orificios sean circulares, lo que se deberá multiplicar por el coeficiente hallado de contraccion, es el cuadrado del diámetro del tubo.*

69 Propongámonos hacer aplicacion á la cuestion resuelta (§ 33), en el supuesto de que el orificio no tenga la forma embudada, sinó que esté practicado en una plancha metálica de 3 líneas de grueso. Como aquí la superficie del orificio es rectangular, para determinar el diámetro que se debe tomar como valor aproximado, al encontrar las relaciones en las tablas 1.ª y 2.ª de los coeficientes de contraccion, deberé sumar como he dicho (63), los valores de los lados del rectángulo, que estando espresados por 5 y por 4 pulgadas, la suma es 9 y la mitad 4,5. Como el grueso es 3 líneas, que equivale á $\frac{1}{4}$ ó 0,25 de pulgada, resulta que dicha relacion es la de 0,25 á 4,5 que equivale á 0,0556.

Veo en la tabla segunda cual es la relacion que mas se aproxima á esta, y hallo que es aquella en que la relacion es nula, cuyo coeficiente de contraccion es 0,6096.

Para encontrar la parte proporcional que le corresponde, diré 0,5 (diferencia de la primera columna de la tabla segunda): 0,0073 (diferencia de la cuarta columna en la misma tabla) :: 0,0556 (esceso de la relacion de la cuestion sobre la relacion que mas se le aproxima en la tabla): al cuarto término, que resulta ser 0,000812; y añadido al coeficiente 0,6096 tomado en la tabla, por ser el menor de los dos que corresponden á las relaciones entre que se halla la de la cuestion, obtengo por resultado 0,610412.

Como la carga es 6 pies, y el valor equivalente al diámetro, si el orificio fuese circular, es 4,5 pulgadas, la relacion de la carga

con la mencionada cantidad es 16, porque 4,5 pulgadas están contenidas 16 veces en 6 pies.

Por consiguiente, veo que en la tabla primera la relacion que mas se le aproxima es 10; cuyo coeficiente de contraccion es 0,620. Y para encontrar la parte proporcional, diré

90 (diferencia que encuentro en la primera columna de la tabla primera): 0,002 (diferencia que encuentro en la cuarta columna de la misma tabla) :: 6 (esceso de la relacion 16 sobre la 10 que mas se le aproxima en la misma tabla primera): al cuarto término, que resulta ser 0,00013; y restándolo del 0,620, por ser este valor mayor que el 0,618 obtengo 0,61987.

Para encontrar ahora el coeficiente definitivo, diré

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos): 0,610412 (coeficiente que hemos obtenido atendiendo á la relacion de la longitud del tubo con el diámetro) :: 0,61987 (coeficiente correspondiente á la relacion de la carga con el mismo diámetro): al cuarto término, que espresará el coeficiente definitivo de contraccion, que es 0,610974; y por este valor se deberá multiplicar el valor de k, que era 0,139; lo que dará para el verdadero valor de la superficie k del orificio, corregida ya por el efecto de la contraccion de la vena 0,08492538б; por lo que, para encontrar el resultado verdadero correspondiente al tiempo que buscamos, deberémos sustituir en la (ec. 8) en vez de k el número 0,0849 (tomando solo cuatro cifras); y procediendo en lo demas como en el (§ 33), multiplicaré 70,1922 pies (duplo de la fuerza de la gravedad en Madrid) por la carga 6 pies; lo que da 421,1532; estraigo la raiz cuadrada y encuentro 20,522017; multiplico este número por 0,0849, y hallo 1,74232; y dividiendo ahora el gasto 1000 por este número, se obtiene 574 segundos; resultado que es mayor que el obtenido en el parage citado, á causa de que, siendo el efecto de la contraccion el de estrechar la vena ó chorro, en un tiempo dado saldrá ménos cantidad de líquido; y para obtener una cantidad determinada de agua, cuando hay contraccion, es preciso que se tarde mas tiempo.

70 Cuando lo que se busca es la misma superficie del orificio, y sean conocidos los demas datos, es necesario hacer mayor dicha superficie cuando hay contraccion respecto de cuando no la hay, en la misma razon que guarda con la unidad el coeficiente de contraccion calculado.

Supongamos que en la cuestion resuelta (34) se añada la circuns-

tancia de no tener el orificio la forma embudada, sinó de estar hecho en una plancha metálica de una línea de grueso.

En este caso, determinarémos el valor de la superficie k del orificio, como lo hemos hecho en el parage citado; y obtendrémos 0,00302 de pie cuadrado. Allí hemos visto que esta superficie puede corresponder á cualquier figura que tenga el orificio; y con el fin de presentar desde luego las aplicaciones á los casos que puedan ofrecer mas dificultades, para que vencidas en los mas espinosos, se facilite hallarlas en los que presenten ménos complicacion en lo futuro, supongamos que el orificio deba tener la forma de un *endecágono* regular, esto es, de un polígono regular de once lados, que se sabe no haber métodos geométricos directos para construirle, y que vamos á ejecutarlo por lo espuesto en la tabla y regla de la nota (§ 34).

Puesto que aquí lo que se nos da es la superficie, para hallar el lado, dirémos

3,2299 (superficie que corresponde al *endecágono* en la tabla) : 0,00302 (superficie que se nos da conocida) :: 0,34492129 (cuadrado del lado 0,5873 del endecágono en la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,000322506 de pie cuadrado, porque la superficie 0,00302 se refiere al pie cuadrado, y los números de la tabla se deben considerar como abstractos; y espresa el cuadrado del lado del endecágono; por consiguiente, estrayendo la raiz cuadrada de este número, tendrémos el lado que se buscaba, y es 0,0179 de pie longitudinal.

Para encontrar el radio oblicuo, dirémos

3,2299 (superficie correspondiente al endecágono en la tabla) : 0,00302 (superficie que se nos da conocida) :: 1,08618084 (cuadrado del radio oblicuo 1,0422 correspondiente en la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,00101559 de pie cuadrado; y estrayendo la raiz cuadrada de este número, tendré por valor del radio oblicuo 0,0318 de pie longitudinal.

Conocido el lado del polígono y su radio oblicuo, para construirle no hay mas que trazar un círculo con un radio igual á la longitud 0,0318 de pie, hallada para dicho radio oblicuo, é ir colocando sucesivamente en la circunferencia de dicho círculo, la longitud 0,0179 de pie, encontrada para su lado; y se verá que cabe once veces exactamente en la circunferencia trazada. Por lo que uniendo con líneas los puntos inmediatos, señalados en la mencionada circunferencia, se tendrá el endecágono pedido.

Ahora, para determinar la cantidad que debo considerar como

equivalente al diámetro si fuese circular el orificio, sumarémos (63) el radio recto con el radio oblicuo del mismo polígono; por lo que necesito calcular de antemano el radio recto por la tabla de la (nota del § 34), y hallo 0,0305 de pie longitudinal. Sumando este valor con el radio oblícuo encontrado ántes, que es 0,0318 de pie longitudinal, resultará 0,0623 del mismo pie; que será lo que debamos considerar como equivalente al diámetro si fuese el orificio circular.

Y como el grueso de la pared es una línea que equivale á $\frac{1}{144}$ de pie longitudinal, y el valor que se considera como equivalente al diámetro es 0,0623 del mismo pie, la relacion de la longitud del tubo á la magnitud que se considera como equivalente á dicho diámetro, será la de $\frac{1}{144}$ de pie á 0,0623 de pie, que es 0,1115; busco en la tabla segunda esta relacion; y no hallándose en ella, encuentro que la mas aproximada es *cero*, esto es, la que allí encuentro ser *nula* ó ser el límite á que se puede aproximar la menor relacion que se considere, cuyo coeficiente de contraccion es 0,6096.

Para encontrar la parte proporcional, diré

0,5 (diferencia de las dos relaciones entre que se halla la de la cuestion y que está en la primera columna de la tabla segunda) : 0,0073 (diferencia correspondiente en la cuarta columna de la misma tabla) :: 0,3885 (diferencia entre la relacion 0,5 que mas se le aproxima en la tabla y la de la cuestion 0,1115) : al cuarto término, que hallo ser 0,0056721; el cual sumado con el coeficiente 0,6096 por ser el menor de los de la tabla entre que se halla la relacion de la cuestion, da 0,61527 que espresa el coeficiente de contraccion que corresponde por la relacion de la longitud del tubo con su diámetro.

Ahora, siendo la carga de 10 pies, y 0,0623 de pie el diámetro del orificio, si fuese circular, la relacion es próximamente 161; y buscándola en la tabla primera veo que la que mas se le aproxima es la 200, á que corresponde el coeficiente 0,615; y para indagar la parte proporcional, diré

100 (diferencia que se halla en la primera columna de dicha tabla primera correspondiente á las dos relaciones 200 y 100 entre que está la de la cuestion) : 0,003 (diferencia correspondiente en la cuarta columna de la misma tabla) :: 39 (diferencia entre la relacion 161 de la cuestion y la 200 de la tabla) : al cuarto término, que hallo ser 0,00117; y añadido á 0,615 resulta 0,61617.

Para encontrar ahora el resultado final, atendiendo á las dos relaciones, formaré la siguiente proporcion

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos practicados): 0,61527 (coeficiente hallado por medio de la tabla segunda):: 0,61617 (coeficiente hallado por la tabla primera): al cuarto término, el cual es 0,6122.

Este es el coeficiente definitivo de contraccion; el cual nos manifiesta que una superficie de un orificio, representada por la unidad, se reduce por el efecto de la contraccion en este caso á 0,6122; y como en el citado ejemplo hemos hallado 0,00302 de pie cuadrado en el supuesto de no haber contraccion, á fin de encontrar la magnitud que se debe dar efectivamente á la abertura del orificio para que se reduzca por el efecto de la contraccion á la 0,00302, formaré la siguiente proporcion

0,6122:1::0,00302: á la verdadera superficie que se debe dar al mencionado orificio, que resulta ser 0,00493.

Esta será la superficie efectiva que deba tener el verdadero orificio endecagonal para satisfacer á la cuestion. Con el objeto de terminarla en un todo, debemos ahora encontrar el valor del lado que le corresponde, y el del radio oblicuo para construirle: y por medio de la tabla y regla de la nota del (§ 34), hallarémos 0,0229 para el lado; y 0,0407 para el radio oblicuo. Por consiguiente, trazando un círculo con dicho radio oblicuo, se podrá colocar exactamente en él once veces el lado 0,0229 de pie, que equivale á 3 líneas y cerca de 3 décimas partes de otra línea, y se tendrá de este modo la superficie del orificio efectivo que buscábamos.

71 Supongamos que en la cuestion resuelta (38) el orificio no sea embudado, sinó que le esté adaptado un tubo cilíndrico de 10 pies de largo. En este caso, como el diámetro del orificio es 4 pulgadas, la relacion de la longitud del tubo al diámetro es de 10 pies á 4 pulgadas que es 30. Busco en la tabla segunda el coeficiente que corresponde á la relacion 30 y hallo ser 0,7339. Ahora, como la carga es 2 pies, la relacion de la carga con el diámetro es la de 2 pies con 4 pulgadas, que es 6. Busco en la tabla primera el coeficiente de contraccion correspondiente á esta relacion de carga, y hallo ser 0,625. Y para encontrar el coeficiente definitivo, diré

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos): 0,7339 (coeficiente de contraccion correspondiente á la relacion de la longitud del tubo con el diámetro):: 0,625 (coeficiente que corresponde á la relacion de la carga con el diámetro): al cuarto término, que hallo ser 0,7406.

Por este número es por el que debo multiplicar el cuadrado del

diámetro en dicha cuestion; el cual, siendo 4 pulgadas, es lo mismo que $\frac{1}{3}$ de pie, y su cuadrado es $\frac{1}{9}$, que multiplicado por 0,7406 da 0,0823. Este número multiplicado por 0,785398 da 0,064638254; y vuelto á multiplicar por 11,85, raiz cuadrada del producto del duplo de la gravedad en Valencia, por la carga, que es 2 pies, da 0,7659633649; y dividiendo el gasto 2400 pies cúbicos por este número que acabamos de encontrar, resulta 3133 segundos, ó sean 52 minutos y 13 segundos, cuyo valor es mayor que el obtenido (38): lo que debe ser así; pues siendo menor el chorro, á causa de la contraccion, para que salga la misma cantidad de agua, se necesita mayor tiempo.

72 Supongamos que en la cuestion resuelta (39), el orificio, en vez de tener la forma embudada, se halle practicado en una plancha metálica de media línea de grueso, y que deseémos hallar el diámetro efectivo que debe darse al orificio, para que, atendiendo al fenómeno de la contraccion, resulte el gasto pedido en la localidad y circunstancias allí espresadas.

En este caso hay una nueva dificultad que vencer; pues no conociéndose el diámetro, no se pueden hallar las relaciones entre la longitud del tubo y la carga con el mismo diámetro; y por consiguiente, no se puede hacer el uso conveniente de las dos tablas de contraccion para practicar la regla. Esto viene á envolver lo que en Matemáticas se suele llamar *círculo vicioso*; pues que vamos á buscar el diámetro atendiendo á la contraccion, y para encontrar la contraccion necesitamos conocer el diámetro. Sin embargo, no hay que arredrarse; pues saldrémos airosos de nuestro empeño por un método análogo al que hemos seguido (§ 551 Mec.) para hallar las alturas por el barómetro; y se reduce á lo siguiente:

Sabemos (53) que el coeficiente de contraccion, ha de ser mayor que 0,5 y menor que 1; y como el cuadrado del diámetro cuando el orificio tiene la forma embudada, y no hay por consiguiente contraccion, hemos hallado (§ 39) ser 0,02535067, resulta que el cuadrado del diámetro efectivo, atendiendo á la contraccion será menor que 0,05070134 y mayor que 0,02535067; tomemos un término medio entre estos dos valores, lo que nos dará (253 Ar. de N.) 0,038026; cuya raiz cuadrada es 0,195. Supongo, para hallar un coeficiente de contraccion aproximado, que este número 0,195 sea el diámetro verdadero; en cuyo caso, como la longitud del tubo, ó grueso de la pared, es 0,5 de línea ó 0,003472 de pie, la relacion de dicho grueso con el diámetro es 0,0178; que la que mas se le aproxima en

la tabla segunda, es la relacion *nula*, ó lo que es lo mismo el límite de toda relacion, cuyo coeficiente de contraccion es 0,6096; y para encontrar la parte proporcional, diré

0,5 (diferencia que hallo en la primera columna de la tabla segunda) : 0,0073 (diferencia que se halla en la cuarta columna de la misma tabla) : : 0,0178 (esceso que la relacion de la cuestion lleva á la relacion *cero* de la tabla) : al cuarto término, que hallo ser 0,00026; el cual añadido al 0,6096, da 0,60986.

Como la carga es 4 pies, y el diámetro que hemos tomado aproximadamente es 0,195, la relacion de la carga con el diámetro es 20,5128; y como la que mas se le aproxima en la tabla primera es la 10, tomo el coeficiente de contraccion 0,620, que le corresponde; y para encontrar la parte proporcional, diré

90 (diferencia que hallo en la primera columna de la tabla primera) : 0,002 (diferencia que encuentro en la cuarta columna de la misma tabla) : : 10,5128 (esceso que la relacion de la cuestion 20,5128 lleva á la 10 que mas se le aproxima en la tabla) : al cuarto término, que resulta ser 0,00023; cuyo valor restado de 0,620, da 0,61977.

Para encontrar ahora el coeficiente definitivo de contraccion, dirémos

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos): 0,60986 coeficiente hallado atendiendo á la relacion de la longitud del tubo á su diámetro) : : 0,61977 (coeficiente de contraccion hallado, atendiendo á la relacion de la carga con el diámetro) : al cuarto término, que hallo ser 0,61032.

Este coeficiente definitivo de contraccion nos manifiesta, que una superficie de orificio, cuyo diámetro fuese la unidad, se reduce por el efecto de la contraccion á 0,61032, y lo que ahora necesitamos saber es cual debe ser el cuadrado del diámetro que debe tener efectivamente la seccion, para que, verificándose el fenómeno de la contraccion, quede reducido el espresado cuadrado del diámetro á ser 0,02535067; á cuyo efecto formarémos análogamente á lo practicado (70) la siguiente proporcion

0,61032 : 1 : : 0,02535067 : al cuadrado del diámetro efectivo; cuyo cuarto término hallo sin hacer mas que dividir el cuadrado 0,02535067 hallado para el diámetro sin atender al fenómeno de la contraccion, por el coeficiente 0,61032 encontrado para esta, y resulta ser 0,041537 el valor aproximado del cuadrado del diámetro efectivo; y estrayendo la raiz cuadrada, el diámetro será 0,2038.

Para encontrar otro valor mas aproximado, tomo este resultado 0,2038 por verdadero diámetro efectivo; y para encontrar el coeficiente de contraccion, observaré que siendo el grueso de la pared 0,5 de línea ó 0,003472 de pie, y el diámetro efectivo que ahora suponemos 0,2038 de pie, la relacion de la longitud del tubo, ó grueso de la pared al diámetro, es 0,01704; y el coeficiente de contraccion mas aproximado en la tabla segunda es 0,6096; por lo que, para encontrar la parte proporcional, diré

0,5 : 0,0073 : : 0,01704 : al cuarto término, que hallo ser 0,0002; cuyo valor añadido al 0,6096, por ser el menor de la tabla, da 0,6098.

La relacion de la carga con el diámetro, es la de 4 pies á 0,2038 de pie, que equivale á 19,62709; por consiguiente en la tabla primera tomo el coeficiente de contraccion 0,620 que corresponde á la relacion 10 que es la mas aproximada; y para determinar la parte proporcional, diré

90 : 0,002 : : 9,62709 : al cuarto término, que hallo ser 0,0002139; el cual restado de 0,620, porque este es el mayor de los coeficientes de contraccion entre que se halla la relacion, da 0,619786.

Y para encontrar el coeficiente definitivo de contraccion, diré

0,6193 : 0,6098 : : 0,619786 : al cuarto término, que hallo ser 0,610278; y dividiendo por este número el valor 0,02535067 hallado para el diámetro sin contraccion, encuentro por tercer valor aproximado 0,04153954; cuya raiz cuadrada es 0,2038; y como este valor es el mismo que el anterior, se sigue que lo he hallado ya exacto hasta con cuatro cifras decimales, que es toda la aproximacion que se puede necesitar. Donde observamos que, pues esta operacion nos da el mismo resultado que la anterior, con solo una operacion que hagamos, podemos estar seguros de encontrar el verdadero resultado; luego hemos tenido mucha razon en asegurar que no habia motivo para arredrarse; pues las Matemáticas son tan fecundas en recursos, que en sabiendo adaptar á cada cuestion el método que corresponde, se llegan á obtener los resultados con la suficiente aproximacion.

73 Supongamos que en la cuestion resuelta (40), el orificio no tenga la forma embudada, sinó que se le adapte un tubo de 30 pies de largo.

En este caso, debemos empezar por hallar el coeficiente de contraccion, para lo cual digo: Siendo la longitud del tubo adicional de 30 pies y el diámetro del orificio de 4 pulgadas, la relacion de la

longitud de aquel con el diámetro será la de 30 pies con 4 pulgadas, ó sea con $\frac{1}{3}$ de pie, que es 90; por lo cual, esta será la relacion de la cuestion: busco ahora la relacion 90 en la tabla segunda, y hallo que el coeficiente de contraccion que le corresponde es 0,5772; y para encontrar el que pertenece, atendiendo á la relacion de la carga con el diámetro, debo conocer la altura; pero ésta es la que buscamos, y por consiguiente, siéndonos desconocida, tenemos una dificultad análoga á la del ej. anterior; y para vencerla, usarémos de un método análogo, tomando por primera altura ó carga aproximada, la que hallamos (40) que es 1,2995 pies, y por consiguiente la relacion de la altura ó carga con el diámetro, será la de 1,2995 pies con 4 pulgadas ó $\frac{1}{3}$ de pie que es 3,8985; busco ahora en la tabla primera la relacion que mas se aproxime á esta de la cuestion, y hallo que es la de 4 veces el diámetro, cuyo coeficiente de contraccion es 0,630; y para encontrar la parte proporcional, diré

1 (diferencia que se halla en la primera columna de la tabla primera correspondiente á las relaciones 4 y 3 entre que se halla la de la cuestion): 0,003 (diferencia correspondiente en la cuarta columna de la misma tabla) :: 0,1015 (diferencia entre la relacion 3,8985 de la cuestion y la 4 que mas se le aproxima en la tabla) : al cuarto término que resulta ser 0,0003045 ; lo que añado á la relacion 0,630 por ser la menor de la tabla; y hallo 0,6303045.

Para encontrar ahora el coeficiente final, atendiendo á las dos relaciones, formaré la siguiente proporcion

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,5772 (coeficiente hallado por medio de la tabla segunda) :: 0,6303045 (coeficiente determinado por medio de la tabla primera) : al cuarto término, que resulta ser 0,58746; por este número debo multiplicar el cuadrado del diámetro que es $\frac{1}{9}$, y hallo 0,06527; y para encontrar la altura, practicaré la regla (40); á cuyo efecto cuadro este número; lo que da 0,0042601729; multiplico este número por 1,2337000368, y hallo 0,00525575546350436972; multiplico este resultado por el cuadrado del tiempo que es 360000; y encuentro 1892,07196686, habiendo tomado ocho cifras decimales; multiplico este número por la fuerza de la gravedad, que en el caso presente es 35,0865 pies, y resulta 66386,182965, habiendo tomado solo seis cifras decimales. Por último, divido el cuadrado del gasto, que es 250000, por el número hallado 66386,182965, y resulta por último 3,7659 pies.

Tomemos ahora este número por segunda altura aproximada,

para hallar el coeficiente de contraccion; y siendo el tubo adicional de 30 pies, y el diámetro de $\frac{1}{3}$ de pie, la relacion hemos dicho ya ser 90, y el coeficiente de contraccion correspondiente es 0,5772.

Para encontrar dicho coeficiente, atendiendo á la relacion de la carga con el diámetro, noto que siendo este de $\frac{1}{3}$ de pie y la carga de 3,7659 pies, la relacion es 11,2977; busco en la tabla primera la relacion que mas se le acerca, y veo es la de 10 veces el diámetro, cuyo coeficiente de contraccion es 0,620, y formo la siguiente proporcion

90 (diferencia que se halla en la primera columna entre las relaciones 100 y 10 en la tabla primera) : 0,002 (diferencia correspondiente en la cuarta columna de la misma tabla) :: 1,2977 (diferencia entre la relacion 10 de la tabla y la 11,2977 de la cuestion) : al cuarto término, que hallo ser 0,000029; y restándole del coeficiente hallado 0,620, por ser el mayor de los dos de la tabla, encuentro 0,619971.

Para obtener el coeficiente final, atendiendo á las dos relaciones, formaré la siguiente proporcion

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos): 0,5772 (coeficiente hallado por medio de la tabla segunda) :: 0,619971 (coeficiente determinado por medio de la tabla primera) : al cuarto término, que resulta ser 0,577827.

Multiplico este número por el cuadrado del diámetro que es $\frac{1}{9}$; lo que da 0,064203; elevo esto al cuadrado, y hallo 0,004122, habiendo tomado solo seis cifras decimales. Multiplico este resultado por el número constante 1,2337000368; lo que da 0,00508531155 habiendo tomado once guarismos decimales exactos. Multiplico esto por el cuadrado del tiempo, que es 360000, y hallo 1830,712158; lo que multiplico por 35,0865 y encuentro 64233,28213667. Divido ahora 250000 por 64233,28213667 y hallo 3,89206 pies.

Tomo ahora este número por tercera altura aproximada. El coeficiente de contraccion que corresponde atendiendo á la relacion entre el diámetro del orificio y el tubo adicional es 0,5772; por tanto, paso á determinar el que corresponde por la relacion de la carga ó altura 3,89206 pies con el diámetro $\frac{1}{3}$ de pie, cuya relacion es 11,67618; y el coeficiente que mas se le aproxima en la tabla primera es 0,620; y formo la siguiente proporcion

90 (diferencia que se halla en la primera columna de la tabla primera entre las relaciones 100 y 10) : 0,002 (diferencia correspondiente en la cuarta columna de la misma tabla) :: 1,67618 (diferencia entre la relacion 10 de la tabla y la 11,67618 de la cues-

tion): al cuarto término, que resulta ser 0,00003725, cuyo número resto de 0,620 por ser este el mayor de los dos de la tabla que corresponden á las relaciones entre que se halla la de la cuestion, y obtengo 0,61996.

Para encontrar el coeficiente final, atendiendo á las dos relaciones, formo la proporcion

0,6193 (relacion de la longitud del tubo á su diámetro en los esperimentos) : 0,5772 (coeficiente hallado por medio de la tabla segunda) :: 0,61996 (coeficiente determinado por medio de la tabla primera) : al cuarto término, que hallo ser 0,577815. Multiplico este número por el cuadrado del diámetro y encuentro 0,0642017; cuadro este resultado, lo que da 0,004122, habiendo aproximado la última cifra por exceso, y siendo este número igual con el obtenido en dicho supuesto anterior, debemos inferir que el resultado del cálculo, será idéntico, á saber 3,89206 pies longitudinales para la altura que debe darse al depósito, atendiendo á la contraccion de la vena fluida. Donde observamos que, al fin hemos vencido la dificultad sin un trabajo estraordinario; pues á la segunda operacion hallamos ya un resultado exacto hasta en las diez milésimas partes de pie, que vienen á valer solamente centésimas partes de línea, que ni con los instrumentos mas adecuados se podrían tomar exactamente.

74 Tanto por lo espuesto (59), como por los esperimentos que hemos referido (§ 383 Mec.), se deduce que los orificios cónicos suministran mas agua que los cilíndricos; y usando de orificios cónicos, cuyas dimensiones sean las espresadas (59) se puede llegar á obtener hasta 0,90 del gasto teórico; pero como las circunstancias relativas á la construccion de los tubos cónicos no se hallan tan bien determinadas como la de los cilíndricos, no nos detendrémos en hacer aplicaciones, que, sin reunir la utilidad con la exactitud, podrían conducir únicamente á satisfacer una cierta especie de curiosidad.

75 Sin embargo, para indicar todo lo que tiene relacion con esta materia, notarémos que *Daniel Bernoulli* había demostrado por esperimentos que, en el caso de un tubo adicional cónico, las paredes de este tubo se hallaban comprimidas de fuera hácia dentro, mientras que las del vaso lo estaban en sentido contrario. *Mr. Venturi* ha repetido los esperimentos de *Bernoulli* y ha desenvuelto las idéas de este célebre Geómetra y Físico, en la obra intitulada *Investigaciones esperimentales sobre el principio de la comunicacion lateral del movimiento de los fluidos*, en la cual hay resultados que aunque desearíamos se hubiesen deducido de esperimentos practicados con

mas escrupulosidad, deben no obstante llamar la atencion de todos los Amantes de las Ciencias; por lo que citarémos los que nos parecen mas notables. Tales son los siguientes:

1.° *Para que un líquido no corra á caño lleno por un tubo adicional cilíndrico, basta cubrir su parte interior con una capa de pintura, barniz &c., ó de una sustancia que el líquido no pueda mojar; entónces, por delgada que sea dicha capa, se advertirá que la vena fluida formada en el orificio interior, no llena la parte adicional, y el movimiento se verifica como si no hubiese tubo aditivo, y saliese el líquido por un orificio hecho en una pared delgada. Verificándose lo contrario, cuando la pared del tubo, no siendo susceptible de mojarse por el líquido, se cubre con una capa de materia que lo sea*; como se verifica respecto del mercurio puro, que si corre por un tubo cilíndrico de fierro, se verifica el movimiento como si el tubo no existiese, es decir, que se forma la misma contraccion que si saliese al aire libre por un orificio hecho en una pared delgada. Mas si se estaña la superficie interior del tubo cilíndrico de fierro, entónces se verifica el movimiento del líquido á caño lleno; y disminuyendo el efecto de la contraccion, aumenta el gasto.

2.° *Se obtiene el mismo efecto en un tubo adicional, introduciendo en él una capa de aire atmosférico.* De manera, que *si en un tubo adicional cilíndrico en que sale el líquido á caño lleno, aumentándose por consiguiente el gasto respecto de cuando el orificio estaba hecho en una pared delgada, se hace una pequeña abertura lateral próxima al plano del orificio interior del tubo adicional, y se deja entrar por ella el aire atmosférico, se nota en el instante que la vena se separa de las paredes del tubo adicional, y disminuye el gasto, verificándose el desagüe como por un orificio cilíndrico hecho en pared delgada.* Si se tapa esta abertura lateral, para impedir la comunicacion con el aire atmosférico, vuelve á correr el líquido á *caño lleno*, y se aumenta el gasto, como corresponde al tubo adicional.

3.° *Aplicando al orificio circular un tubo adicional cónico ACFD* (fig. 22 lám. 3.ª) cuyas dimensiones sean $DF=1$; $AC=1,24$ y $eg=0,76$, ha obtenido que el gasto efectivo es 0,918 del gasto teórico.

4.° *Mr. Venturi* adaptando á un orificio circular un doble cono de la forma espresada por la (fig. 23), en la cual $DF=1$, $AC=1,24$, $eg=0,76$; $MN=1,8$; $gf=9$, ha obtenido un resultado mas que el do-

ble del que saldría por un orificio hecho en una pared delgada del tamaño de la superficie *DF*. Tambien se obtiene casi el mismo aumento de gasto, separando los dos conos por un tubo cilíndrico cuyo diámetro fuese la base menor; que es comun á los dos tubos adicionales, como representa la (fig. 24).

Con este motivo dice *Venturi* en la pág. 39. *En Roma los particulares compraban el derecho de tomar el agua de los depósitos públicos para sus casas; la ley les prohibía ejecutar el tubo de conduccion, mayor que la abertura que se les había concedido en el depósito hasta la distancia de unos 57 pies españoles. El legislador sabía, pues, que un tubo adicional mayor que el orificio, aumênta el gasto; pero ignoraba sin duda que mas allá de dicha distancia, se podía eludir la ley terminando el tubo de conduccion celíndrico por un tubo adicional cónico.*

76 Terminarémos el punto de la contraccion de la vena fluida indicando, que las formas que va tomando la vena fluida desde que sale del orificio son muy variables y dignas de fijar nuestra consideracion. En los orificios cuadrados, como en la (fig. 25), al principio tiene la misma forma del orificio; á una cierta distancia, pero entre el orificio y el máximo de contraccion, viene á tomar la forma de una cruz curvilínea, como representa la (fig. 26); despues viene á ser un cuadrado, cuyos ángulos corresponden al medio de los lados, como representa la (fig. 27), y esta forma se continúa despues de la contraccion, como espresa la (fig. 28).

Los orificios rectangulares ó poligonales &c. presentan singularidades análogas.

Por último, advertirémos que en el movimiento de los gases que salen por orificios hechos en las paredes ó en el fondo de las paredes de los vasos ó depósitos que los contienen, se verifican tambien los fenómenos de contraccion de la vena fluida. Hasta ahora solo se tienen esperimentos directos hechos por *Mr. d' Aubuisson, y publicados en los Anales de Química* en el año de 1826 acerca del aire atmosférico; de ellos resulta: 1.° que, en los orificios hechos en paredes delgadas, el coeficiente de contraccion es 0,65; 2.° que en los tubos adicionales cilíndricos es 0,93; 3.° que en tubos adicionales cónicos poco embudados es 0,95; siendo digno de notarse que un tubo adicional, cuya longitud sea igual á veinte ó treinta veces el diámetro, suministra todavía mayor gasto que si el orificio estuviese hecho en una pared delgada.

77 Todo lo dicho hasta ahora, tanto en este capítulo como en

el precedente, ha sido en el supuesto de que las evacuaciones se hacian por aberturas ú orificios hechos en paredes de vasos ó depósitos en que se consideraba el líquido en reposo; mas si el espresado líquido estuviese en movimiento, entónces habría necesidad de atender á esta circunstancia, del modo siguiente. *Se halla la altura debida á la velocidad del agua ó del líquido de que se trata*, por el método espuesto (§§ 51 y 56 Mec. Prác.) que se reducen *á dividir el cuadrado de la velocidad con que se mueve el líquido por el duplo de la fuerza de la gravedad*; y el cociente que se halle será la altura que corresponde á la velocidad de la corriente en aquel *parage y circunstancias*. Esta altura se debe restar de la del líquido sobre el centro del orificio; y la resta que se obtenga, será la *altura efectiva*, que se deba suponer que tiene el fluido sobre el centro del orificio; ó sobre la base de la abertura.

1.^{er} *Ej.* Propongámonos resolver la misma cuestion del (§ 9) sin mas diferencia que la de suponer que el orificio está hecho en el fondo de un canal, rio, conducto, &c. de agua en el cual en vez de estar el agua en reposo, se halle dotada de movimiento, y que la velocidad sea la de 3 pies por segundo. En este caso, lo primero que tenemos que hacer es determinar la altura debida á esta velocidad; la que hallarémos, segun acabamos de espresar, cuadrando la velocidad 3, lo que nos da 9 y dividiendo esto por el duplo de la fuerza de la gravedad, que en Madrid el espresado duplo es 70,1922 pies, se obtiene 0,12822 de pie español para la espresada altura, restando esta cantidad 0,12822 de la altura 10 pies que suponemos tiene la superficie del agua sobre el centro del orificio, resulta 9,87178 que espresará la altura efectiva del agua que debamos considerar sobre el mencionado orificio. Y aplicando la regla de dicho (§ 9) al mismo ejemplo sin mas diferencia que en vez de suponer que la altura h de la fórmula (7) sea 9,87178 en vez de ser 10, nos resulta por último el verdadero gasto en este caso 226813o pies cúbicos, que es 14683 ménos que el obtenido allí, como en efecto debe así verificarse, pues todo el movimiento que tiene el agua en la direccion de la corriente disminuye la presion sobre las paredes, ó fondo del conducto por donde se mueve.

Ej. 2° Si en la cuestion resuelta (§ 34), en vez de suponer que el agua está en reposo, la consideramos en movimiento con la misma velocidad de 3 pies por segundo, hallarémos como en el ejemplo anterior que esta velocidad es debida á una altura de 0,12822 pies, y que por consiguiente la altura efectiva, en vez de ser 10

pies, deberá considerarse solo como 9,87178, y practicando la regla (§ 34) con arreglo á los mismos datos que allí se ponen, resulta para la superficie que debe tener el orificio atendiendo á esta circunstancia 0,00304 de pie cuadrado español, valor mayor que el obtenido en dicho párrafo, como debía verificarse; pues habiendo menor presion, como se verifica en el caso de estar el líquido en movimiento, para que en un mismo tiempo salga igual cantidad de agua, es preciso que el agujero, abertura ú orificio sea mayor.

Ej. 3.º Sea el último ejemplo y mas complicado, uno en que haya que atender á la contraccion de la vena fluida, estando el agua en movimiento, y en el que tratemos de hallar la altura que deba tener el agua sobre el parage donde se haya de colocar la abertura. Con el objeto de enseñar, á vencer todas estas dificultades, y que al mismo tiempo se comparen los resultados con los obtenidos sin atender á estas circunstancias, nos propondrémos resolver la misma cuestion del (§ 73), sin mas diferencia que la de suponer que, en vez de estar el agua en reposo, deba considerarse en movimiento y con una velocidad de 3 pies por segundo. Es decir, supongamos que en *Córdoba*, que es la localidad á que se refiere la cuestion de dicho (§ 73), que no es mas que una modificacion de la del (§ 40), atendiendo á la contraccion de la vena fluida, se tenga una corriente de agua, en que dicho líquido lleve una velocidad de 3 pies por segundo, y que se quiera averiguar cual deba ser la altura de la superficie del agua en la corriente sea canal, rio, &c. para que en 10 minutos, y por un tubo adicional de 30 pies de largo y de 4 pulgadas de diámetro, resulte un gasto de 500 pies cúbicos.

En este caso, no hay que hacer otra cosa que resolver la cuestion como si el agua estuviese en reposo; es decir, que practicaríamos exactamente lo mismo que hemos hecho en el espresado (§ 73), y obtendrémos que el centro del orificio se deberá colocar 3,89206 pies mas abajo que la superficie del agua. Esto es en el supuesto de que dicha superficie del líquido debiese permanecer en reposo; mas para atender á la circunstancia de hallarse en movimiento y con una velocidad de 3 pies por segundo, tenemos ahora que hallar la altura debida á esta velocidad en Córdoba; y como allí la fuerza de la gravedad es 35,0865, deberémos dividir el cuadrado 9 de la velocidad 3 pies por el duplo de 35,0865, que es 70,1730, y resulta para la espresada altura 0,12825: la cual debe añadirse á la 3,89206 que se ha encontrado ántes, y obtendrémos por resultado final que el *centro del orificio deberá colocarse 4,02031 pies mas bajo que la*

superficie del agua en la corriente, atendiendo á todas las circunstancias de la cuestion.

Con lo cual creemos haber resuelto los suficientes ejemplos para que los lectores adquieran la competente destreza, y no encuentren dificultad en los demas que puedan ocurrirles.

CAPÍTULO IV.

Resolucion de las principales cuestiones que pueden ocurrir acerca de la salida del agua por aberturas hechas en paredes delgadas y en que el orificio es muy pequeño en comparacion de la superficie del depósito.

78 En el capítulo II del presente libro hemos manifestado el modo de resolver las cuestiones relativas á la salida del agua de los depósitos en que se halla contenida, suponiendo que la figura del orificio era embudada y que no había contraccion. En el III hemos manifestado el modo de hacer la correccion oportuna cuando el orificio, no teniendo la forma embudada, presenta el fenómeno de la contraccion; y cuanto he dicho acerca del uso de las tablas, que allí he insertado, tomándolas de las notas de *Mr. Navier* al primer tomo de la *Arquitectura Hidráulica de Belidor*, es fruto de mis propias investigaciones; y en mi concepto no deja ya lugar esta materia á incertidumbres y dudas sobre el modo de hacer esta correccion. Pero sería de la mayor importancia el que las espresadas tablas se rectificasen y estendiesen, en virtud de nuevos esperimentos, que si fuesen en nuestro pais y con las circunstancias indicadas (90 libr. 2.º), producirían ventajas de mucha consideracion. Mas como en los libros se hace por lo general la distincion de los desagües por orificios hechos en paredes delgadas, y por tubos adicionales, vamos nosotros tambien á preparar las fórmulas que deben servir en este caso, y á familiarizar al lector con el modo de usarlas, resolviendo el competente número de ejemplos.

79 Pero ántes debemos advertir, que usan los Autores, al hablar de este caso, la espresion inexacta y capaz de inducir á error, de que el orificio es *infinitamente pequeño*. Aquí las palabras están en contradiccion con las idéas; pues en rigor matemático, un orificio *infinitamente pequeño* no daría paso al líquido. Esta locucion figurada es preciso entenderla en el sentido que la hemos usado en nuestra

Mecánica, á saber, que la superficie del orificio es muy pequeña en comparacion de la del vaso ó depósito.

80 Hasta ahora, tomando términos medios entre los esperimentos, se ha procedido en el concepto de que cuando el orificio está hecho en paredes delgadas *, el coeficiente de contraccion es 0,62; por lo que el contenido de este capítulo se reduce á multiplicar la (ec. 7) por 0,62 y hacer aplicacion á las diferentes cuestiones á que ella y sus derivadas pueden dar lugar.

Luego tendrémos $Q=0,62\times k\times t\times\sqrt{2g\times h}$ (25)

En la cual Q representa la cantidad de agua que sale, á que como hemos dicho se llama *gasto*; k la superficie del orificio; t el tiempo en que sale el agua, espresado siempre en segundos; g la fuerza de la gravedad en el parage de que se trata, y h la altura de la superficie del agua en el depósito sobre el centro de gravedad del orificio, que es lo que se llama *la carga*, pero espresada en la misma unidad lineal á que se refiere la superficie k, y el volúmen Q; y traduciendo en regla la espresada ecuacion, quiere decir, que *para encontrar la cantidad Q de agua, que sale de un depósito que permanece constantemente lleno por un orificio* k, *cuya superficie sea pequeña en comparacion de la del depósito, y que esté hecho en una de las paredes que se supone de poco grueso en un tiempo* t *determinado, se debe multiplicar el número constante* 0,62 *por la superficie del orificio ó abertura; el producto que resulte, se volverá á multiplicar por el número de segundos que ha de estar saliendo el agua; y lo que se obtenga, por la raiz cuadrada del producto del duplo de la fuerza de la gravedad en el parage en que se verifica la evacuacion, por la carga ó altura del agua en el depósito.*

Esta regla, así como todas las que sigan, la podrémos enunciar con mas sencillez teniendo presente que cuando se dice *el producto de una cantidad por otra, por otra, por otra* &c. quiere decir que *lo que resulte de la multiplicacion primera, se ha de multiplicar por lo que sigue; y lo que se obtenga, se debe multiplicar por lo que sigue* &c, de modo que la regla anterior, quedará enunciada con mas concision, sin perjudicar á la claridad, del modo siguiente: *multi-*

* Ya hemos manifestado (55) que esta espresion de *paredes delgadas* es *vaga*; mas para fijar de algun modo esta significacion, deberémos observar que el coeficiente 0,62 corresponde aproximadamente al caso en que el grueso de la pared no esceda á la mitad del diámetro del orificio ni á la vigésima parte de la carga.

plíquese 0,62 *por la superficie del orificio, por el número de segundos, y por la raiz cuadrada del duplo de la gravedad por la carga.*

81 Debemos advertir que en esta ecuacion y en todas las demas, la altura h del depósito, la superficie k del orificio, el gasto Q y la fuerza g de la gravedad deben referirse á una misma unidad; por ejemplo vara, toesa, pie, pulgada ó línea, y teniendo presente que lo que denote g y h es en unidades longitudinales, lo que represente k, es en unidades superficiales, y Q espresa unidades cúbicas; y el tiempo t se ha de espresar precisa é indispensablemente en segundos.

Tambien debemos indicar que la superficie k para que suministre, á igualdad de abertura, mayor cantidad de agua, debe ser un polígono regular y del mayor número de lados posible, y que por medio de la nota del (§ 34) se consigue fácilmente la construccion de dichos polígonos que generalmente suele arredrar aun á las personas de medianos conocimientos.

82 Si quisiéramos hacer aplicacion de esta fórmula para la situacion de la Habana, en el supuesto de que el orificio sea un pentágono regular, cuyo radio oblicuo tenga 8 líneas, que dure la evacuacion 7 horas, y que la altura del agua en el depósito sea de 15 pies, lo primero que debémos determinar es la superficie del orificio, que, en virtud de la espresada nota del (§ 34), hallarémos ser 0,00733; y practicando ahora la regla, obtendré por último,

$$Q=3712 \text{ pies cúbicos.}$$

83 Si en la ecuacion anterior, despejamos la k, que representa la superficie del orificio, tendrémos $k=\dfrac{Q}{0,62\times t\times\sqrt{2g\times h}}$ (26); la cual nos puede servir *para encontrar la superficie que debe tener un orificio hecho en una pared delgada de un depósito, cuya abertura es conocida, para que, en un tiempo dado salga una cantidad determinada de agua, y esta espresion nos dice, que para encontrarla, se debe dividir el gasto por el producto de* 0,62, *por el número de segundos que se da y por la raiz cuadrada del producto del duplo de la gravedad por la carga.*

Ej. Si en la isla de Tenerife á la misma latitud del pico de Teide, pero al nivel del mar, se necesitase determinar la superficie que debería tener un orificio para suministrar 1000 pies cúbicos de agua en una hora con cuatro pies de carga; como allí la gravedad es 35,04147 pies españoles, practicando la regla que se acaba de establecer, encuentro 0,026759 de pie cuadrado.

Conocida la superficie del orificio, nos sería fácil por medio de lo dicho (nota del § 34) cuando determinásemos su forma, encontrar su lado y radio oblicuo para construirle.

84 Si en la misma ecuacion (25), se despeja la t, resultará

$$t=\frac{Q}{0{,}62\times k\times\sqrt{2g\times h}}\ (27);$$

que nos servirá cuando tratemos de *hallar el tiempo que se necesita para que salga por un orificio cuya superficie se conoce, una cierta cantidad de agua, de un depósito en que tambien es conocida la carga*: y quiere decir, *que se hallará el espresado tiempo, dividiendo el gasto por el producto de* 0,62, *por la superficie del orificio y por la raiz cuadrada del producto del duplo de la gravedad por la carga.*

Ej. Supongamos que á la misma altura de las nieves perpétuas en el pico de Teide se pida el tiempo que se necesita para que salgan 800 pies cúbicos de agua por un orificio de 9 pulgadas cuadradas con una carga de 5 pies. En este caso, no deberé perder de vista que teniendo el pie cuadrado 144 pulgadas cuadradas, las 9 pulgadas cuadradas que tiene el orificio equivalen á $\frac{1}{16}$ ó á 0,0625 de pie cuadrado; y como la fuerza de la gravedad, en dicho parage es 35,00773, practicando la regla encuentro por último resultado 1103,4 segundos, que vienen á ser 18 minutos y 23,4 segundos.

85 Si despejamos h, resultará $h=\frac{Q^2}{0{,}7688gk^2t^2}$ (28); la cual nos puede servir *para encontrar la altura* h *que se debe dar á un depósito sobre el centro de gravedad de un orificio* k, *ó lo que debe estar la superficie del agua en un depósito mas alta que el centro de gravedad del mismo orificio, para que, en un tiempo conocido, salga por dicho orificio tambien determinado una cantidad de agua conocida y espresada por* Q; y esta fórmula nos dice, *que se cuadre el gasto, ó lo que es lo mismo el número que represente la cantidad de agua que ha de salir, y esto se divida por el producto de* 0,7688 *por la gravedad en el parage donde se opera, por el cuadrado de la superficie* k *del orificio, y por el cuadrado del número* t *de segundos.*

Ej. Si en Valencia quisiéramos determinar la altura que debía tener un depósito para que en 3 minutos saliesen 90 pies cúbicos de agua por un orificio dodecagonal, cuyo lado tuviese dos líneas de largo; lo que deberíamos determinar ante todas cosas era la superfi-

cie del espresado orificio; y en virtud de la nota del (§ 34) hallaríamos 0,002159 de pie cuadrado; y practicando ahora la regla anterior, se halla por último que el nivel del agua en el depósito debía estar 1988 pies mas alto que el centro de gravedad del dodecágono.

86 Estas fórmulas y reglas son generales para cualquier punto del Globo Terrestre, sustituyendo en vez de la fuerza de la gravedad g el valor que le corresponde por la cuestion que hemos enseñado á resolver en general (5); mas para Madrid y casi todos los puntos de la Península, podrémos poner la ecuacion fundamental (25) mas sencilla, sustituyendo desde luego, en vez de la fuerza de la gravedad g, su valor en Madrid como término medio de toda la España, que es 35,0961 pies españoles; y ejecutando todas las operaciones numéricas, resulta la ecuacion fundamental para Madrid, y demas parages á que pueda corresponder como término medio la siguiente: $Q=5,19441 \times k \times t \times \sqrt{h}$ (29). La cual suministra la siguiente regla práctica. *Para encontrar la cantidad de agua ó el gasto que suministra un depósito, cuya altura se conoce, por un orificio dado, en un cierto número de segundos, se practicará lo siguiente: multiplíquese 5,19441 por la superficie del orificio, por el número de segundos y por la raiz cuadrada de la altura del depósito.*

Ej. Supongamos un estanque en el cual tenga el agua 3 pies de altura sobre el centro de gravedad de un orificio rectangular, hecho en una de las paredes que sea delgada, y en que el lado horizontal de dicho orificio sea de 4 pulgadas, y el vertical de dos pulgadas, y que el tiempo sea una hora.

Aquí es necesario empezar por espresar los lados del orificio en fracciones de pie; y así, el lado horizontal vendrá espresado por $\frac{4}{12}$ de pie, ó lo que es lo mismo por $\frac{1}{3}$ de pie, y el vertical por $\frac{2}{12}$ ó $\frac{1}{6}$; multiplicando $\frac{1}{3}$ por $\frac{1}{6}$, hallo $\frac{1}{18}$ de pie cuadrado, que espresará la superficie del orificio. El tiempo deberé espresarle en segundos; y como una hora tiene 60 minutos primeros, y el minuto primero 60 minutos segundos, resulta que una hora tendrá 3600 segundos. Por consiguiente, practicando la regla, tendré que multiplicar primero el número constante 5,19441 por $\frac{1}{18}$; lo que se reduce á dividir dicho número constante por 18, y hallo 0,28858. Este producto le multiplicaré por 3600 segundos, lo que dará 1038,888; y esto lo deberé multiplicar por la raiz cuadrada de la altura 3 pies, la cual es 1,732 &c., y tendré por último que la cantidad de agua, que saldrá en el espresado tiempo, estará representada por 1799 pies cúbicos

Y si quisiera espresar este resultado en libras, arrobas ó quintales, como el pie cúbico español de agua, á la temperatura ordinaria, se puede graduar que pesa (§ 241 Mec. Prác.) 47 libras, tendré 84553 libras, que hacen 845 quintales, 2 arrobas y 3 libras *.

87 *ADVERTENCIA importantísima.* En la fórmula (25), así como en las (26, 27, y 28) que se derivan de ella, y en todas las que contengan indeterminada la fuerza g de la gravedad, como es la (7) y cuantas de ella se deducen, es preciso tener presente que la unidad á que se refiera tanto la g, como la h, la k y la Q, pueden ser cualquiera de las unidades de longitud, como pie, vara, pulgada, línea, toesa, braza, metro &c., y no resultará ningun error con tal que el valor g de la gravedad, en el parage donde se opera, se esprese en dicha unidad lineal y que el valor de h se esprese en la misma unidad lineal, el de k en la misma unidad, pero superficial, y Q en la misma unidad, pero cúbica, segun hemos espresado (78).

Mas en la (ec. 29), y en las que de ella se deduzcan, así como en cualesquiera otras, en que se tenga indeterminada la fuerza de la gravedad y el valor numérico de esta se halle envuelto en el coeficiente constante, ya es indispensable que tanto la h, como la k y la Q se refieran precisa é indispensablemente al pie español, no perdiendo de vista, que h representa siempre pies lineales, k pies superficiales y Q pies cúbicos. Repetimos que esto es de la mayor importancia, porque son frecuentes los errores que por descuidos de esta naturaleza se cometen aun por personas de profundos conocimientos.

88 Si quisiéramos averiguar la superficie que debía tener en Madrid un orificio, para que, en un tiempo dado, saliese por él una cierta cantidad de agua, de un depósito cuya altura fuese conócida, despejaríamos, en la ecuacion fundamental (29), la k, y tendríamos $k=\dfrac{Q}{5,19441\times t\times\sqrt{h}}$ (30); la cual suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto que resulte de mul-*

* Para que se advierta la multitud de errores que se cometerían si esta cuestion se resolviese por el método con que se esplica en los libros anteriores á mis obras, no hay mas que resolverla por la fórmula $Q=0,62k\times t\times\sqrt{2g\times h}$, suponiendo que g vale 30 pies y dos pulgadas, y que el pie cúbico de agua dulce pesa 70 libras, que es como se han acostumbrado á resolver tales cuestiones.

tiplicar 5,19441, *por el tiempo*, *y por la raiz cuadrada de la altura*; y se tendrá la superficie que se buscaba.

Ej. Supongamos que se nos pida determinar la superficie que deberá tener un orificio para que en 30 minutos puedan salir 40 pies cúbicos de agua, de un depósito en que este líquido se halla 6 pies mas alto que el parage donde se ha de colocar el centro de gravedad del orificio.

Siguiendo la regla, multiplicaré primero el número 5,19441 por 1800 segundos que hay en 30 minutos, y obtendré 9349,938; esto lo multiplicaré por la raiz cuadrada de 6 pies, que es 2,449 y obtendré 22897,998162; dividiendo ahora el gasto, que es 40 pies cúbicos, por este número 22897,998162, resulta 0,001747 de pie cuadrado ó superficial; para ver las pulgadas cuadradas que tiene, deberé multiplicar este resultado por 144 pulgadas que tiene el pie cuadrado; y obtengo 0,251568 de pulgada cuadrada; y como no llega á una pulgada cuadrada, lo reduciré á líneas cuadradas, multiplicando este número 0,251568 por 144, que son las líneas cuadradas que contiene una pulgada superficial, y hallo 36,225792; y quiere decir *que se debe dar al orificio treinta y seis líneas cuadradas*, *y doscientas veinte y seis milésimas de línea cuadrada* (tomando solo tres cifras decimales y apreciando la tercera por esceso).

Ahora, dos números cualesquiera, cuyo producto dé 36,226 como serían por ejemplo 2 líneas y 18,113 líneas, ó aproximadamente 12, y 3, podrían representar los lados de un rectángulo que cumpliese con las condiciones que se pedían; pero, como ya hemos dicho (al fin de la nota del § 34), siempre sería mas conveniente que el orificio fuese cuadrado; por lo que *deberémos hallar la raiz cuadrada de* 36,225792; lo que nos dará 6,018; y quiere decir que formando un *cuadrado cuyo lado tenga* 6 *líneas y* 18 *milésimas de otra línea*, tendrémos encontrado lo que se pedía; y como 18 milésimas de línea, apenas se pueden apreciar, tomarémos solo las 6 líneas.

89 Si nos propusiéramos hallar el tiempo que se necesitaría en Madrid para que por un orificio y carga que nos den, salga una cantidad determinada de agua, despejaríamos la t en la (ec. 29); lo que nos dará $t=\frac{Q}{5,19441\times k\times\sqrt{h}}$ (31); que suministra la siguiente regla: *Divídase el gasto por el producto de* 5,19441 *por la superficie del orificio y por la raiz cuadrada de la carga.*

Ej. Supongamos que se quiera saber el número de segundos en

que un orificio de una pulgada cuadrada, y con una carga de 3 pies, dará 5000 pulgadas cúbicas de agua.

Multiplicaré 5,19441 por $\frac{1}{144}$, que es la superficie del orificio en pies cuadrados, y el producto será 0,03607; ahora, como la carga se me da en pies, y el gasto en pulgadas, reduciré las pulgadas del gasto á pies cúbicos, dividiendo las 5000 pulgadas por 1728, que espresa las pulgadas cúbicas que tiene el pie cúbico, y obtengo 2,8935 pies cúbicos; y practicando despues la regla, obtendré por último 46 segundos.

90 Si dado el tiempo y la superficie del orificio, se buscase la altura que debía tener el agua en el depósito, para que, en Madrid saliese una cantidad de agua determinada, despejaríamos la h en la ecuacion fundamental (29), y obtendríamos

$$h=\left(\frac{Q}{5,19441\times k\times t}\right)^2 \quad (32);$$ que nos da la siguiente regla práctica:

Divídase el gasto por el producto de 5,19441, *por la superficie del orificio y por el tiempo; y el cociente que resulte, elévese al cuadrado.*

Ej. Supongamos que un orificio de 3 pulgadas cuadradas de superficie, haya de suministrar en 50 segundos 6000 pulgadas cúbicas de agua; y que se quiera averiguar la altura que deba tener la superficie del agua en el depósito respecto del centro de gravedad del orificio.

Para esto, siguiendo la regla, multiplicaré 5,19441 por $\frac{3}{144}$ ó $\frac{1}{48}$; lo que da 0,108217; multiplico este número por 50 segundos, y resulta 5,41085; ahora dividiré el número de pulgadas 6000, despues de reducidas á pies cúbicos, que dan 3,4722, por 5,41085, y tengo el resultado 0,6417, que elevado al cuadrado se tiene por último 0,41177889 de pie; que es la altura que se debe dar al depósito espresada en fraccion de pie, que equivale á 4,94 pulgadas; y quiere decir, que *la altura del depósito deberá ser de 4 pulgadas y muy cerca de otra pulgada, pues que solo le falta para las 5 pulgadas, seis centésimas de pulgada.*

91 Si, ademas de suponer que el desagüe se verifica en Madrid, se añadiese la circunstancia de que el orificio fuese circular, podríamos obtener una fórmula mas sencilla todavía que la (29), sustituyendo en vez de k, la superficie del círculo, ya con relacion al diámetro, ya con relacion al radio, ya con relacion á la circunferencia; pero por las razones dadas (37) nos limitarémos á poner la espresion de la

mencionada superficie en valor del diámetro; lo que nos dará

$$Q=5,19441 \times 0,785398163 4\times D^2 \times t \times \sqrt{h};$$

que, ejecutadas las operaciones, se convierte en

$Q=4,079679225 \times D^2 \times t \times \sqrt{h}$ (33). En la cual D representa el diámetro del orificio espresado en pies españoles, así como la h y la Q; las demas letras significan lo mismo que en las ecuaciones anteriores. Esta ecuacion suministra la siguiente regla práctica: *para encontrar el gasto por un orificio circular, hecho en una pared delgada, se multiplicará el número constante 4,079679225 por el cuadrado del diámetro del orificio, por el número de segundos y por la raiz cuadrada de la carga.*

Ej. Se deséa encontrar el gasto que produciría un orificio de pulgada y media de diámetro en 3 minutos, con una carga de 400 pulgadas. Practicando la regla, multiplicaré 4,079679225 por el cuadrado de $1\frac{1}{2}$ pulgada reducida á pie, que es 0,015625; lo que da 0,063744987 89 tomando solo once cifras; esto lo multiplico por el número de segundos, que es 180 y hallo 11,4740978; lo que vuelvo á multiplicar por la raiz cuadrada de la carga; pero como esta es de 400 pulgadas, reducidas á pies componen 33,3333, cuya raiz cuadrada es 5,77; y hallo 66,2055 pies cúbicos.

92 Si quisiéramos averiguar el diámetro que debe tener un orificio, para dar salida á una cantidad determinada de agua en un tiempo dado, y con una carga determinada, despejarémos la letra D en la ecuacion (33), lo que nos dará

$$D=\sqrt{\frac{Q}{4,079679225 \times t \times \sqrt{h}}} \quad (34);$$

que suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto de 4,079679225, por el número de segundos y por la raiz cuadrada de la altura; y de lo que resulte, estráigase la raiz cuadrada.*

Ej. Supongamos que se quiera *encontrar el diámetro de un orificio, que en 200 segundos, y con una carga de 64 pulgadas, proporcione 3000 pulgadas cúbicas de agua.* Practicando la regla, teniendo presente que la carga debe reducirse ante todas cosas á pies lineales, y el gasto á pies cúbicos, segun lo espuesto (87), nos resulta 0,0303 de pie, que equivale á 4,36 líneas.

93 Si quisiéramos determinar el tiempo en que saldría una cantidad determinada de agua por un orificio de un diámetro dado, y

con una carga conocida, despejaríamos la t en la (ec. 33); lo que nos da $t=\frac{Q}{4{,}079679225 \times D^2 \times \sqrt{h}}$ (35); que suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto de* 4,079679225, *por el cuadrado del diámetro, y por la raiz cuadrada de la altura ó carga.*

Ej. Supongámos que se quiera *saber en cuanto tiempo saldrán* 500 *pulgadas cúbicas de agua, por un orificio de media pulgada de diámetro y bajo una carga de* 48 *pulgadas.* Siguiendo la regla teniendo presente lo dicho (87), resultan 20,4 segundos.

94 Si se quiere *determinar cual deba ser la altura del nivel del fluido en el depósito sobre el centro de un orificio de un diámetro dado, para que en un tiempo determinado suministrase una cantidad fija de agua*, despejaríamos h en la (ec. 33), y obtendríamos

$$h=\left(\frac{Q}{4{,}079679225 \times D^2 \times t}\right)^2 \quad (36);$$

que suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto, por el producto de* 4,079679225 *por el caadrado del diámetro y por el tiempo; y lo que resulte elévese al cuadrado, y se tendrá la altura pedida.*

Ej. Propongámonos *determinar qué carga deberá darse al centro de un orificio de $\frac{2}{3}$ de pulgada de diámetro, para que, en* 200 *segundos, dé* 1000 *pulgadas cúbicas de agua.*

Practicando la regla, teniendo siempre presente lo dicho (87), hallo 0,0524 de pie, que equivalen á 7,5 líneas. Luego el centro *del mencionado orificio* se deberá colocar siete líneas y media mas bajo que la superficie del agua en el depósito.

CAPÍTULO V.

Resolucion de las principales cuestiones que pueden ocurrir acerca de la evacuacion ó salida del agua por orificios á que se adapta un tubo adicional; en el supuesto de que la superficie del orificio sea muy pequeña en comparacion de la superficie del depósito y en que este subsista constantemente lleno.

95 Por las razones dadas al principio del capítulo precedente vamos á resolver aquí las cuestiones sobre la evacuacion del agua por orificios á que se adapta un tubo, que se denomina *aditicio* ó

adicional. En este caso, el coeficiente de contraccion se puede reputar, por término medio, que es 0,81 como resulta de lo espuesto (§ 580 Mec.), y tambien por lo dicho en el capítulo III párrafo 54 *. Luego aquí nos bastará multiplicar el segundo miembro de la (ec. 7) por 0,81, y tendrémos $Q=0,81\times k\times t\times\sqrt{2g\times h}$ (37); la cual nos da la siguiente regla práctica: *para encontrar la cantidad Q de agua, que sale de un depósito que permanece constantemente lleno, por un orificio pequeño á que se adapta un tubo adicional, y en un tiempo* t *determinado, se debe multiplicar el número constante* 0,81 *por la superficie del orificio ó abertura; por el número de segundos que ha de durar el desagüe, y por la raiz cuadrada del producto del duplo de la fuerza de la gravedad en el parage donde se verifica la evacuacion por la carga ó altura del agua en el depósito sobre el centro del orificio.*

Ej. Supongamos que se nos pida el gasto que se obtendrá en Valencia por un orificio regular y exagonal, cuyo lado sea de 1 ½ pulgada, la carga ó altura de 4 pies, y el desagüe continúe por 2 horas.

Practicando la regla, encuentro 3966,637 pies cúbicos.

96 Si en la ecuacion anterior, despejamos la k, que representa la superficie del orificio, tendrémos $k=\frac{Q}{0,81\times t\times\sqrt{2gh}}$ (38); la cual nos puede servir para *encontrar la superficie que debe tener un orificio al cual se adapte un tubo adicional, para que en un tiempo dado y con una carga conocida, salga una cantidad determinada de agua*; y esta espresion nos dice: que *para encontrarla, se debe dividir el gasto por el producto de* 0,81, *por el número de segundos que se da, y por la raiz cuadrada del producto del duplo de la fuerza de la gravedad por la carga.*

Ej. Si en Manzanares de la Mancha se necesitase determinar la superficie que debería tener el orificio con un tubo adicional para suministrar 1200 pies cúbicos de agua en 1 ½ hora, con 5 pies de carga, haciendo el cálculo, hallo 0,014646 de pie cuadrado, ó 2 pulgadas cuadradas y 1 décima parte de otra pulgada cuadrada.

---

* Así como hemos hecho (nota del § 80), debemos advertir que esta idéa de *tubo adicional* es vaga, del mismo modo que la de *pared delgada*; y, para fijar de algun modo su significado, debemos decir que el coeficiente 0,81 corresponde al caso en que la longitud del tubo equivale á unas dos veces al diámetro.

Si, conocida esta superficie, quisiéramos darle una forma regular, calcularíamos por medio de la tabla (nota del § 34), el lado del polígono que quisiéramos; en seguida el radio oblicuo y se construiría.

97 Si en la misma (ec. 37) se despeja la t, resultará

$$t=\frac{Q}{0{,}81\times k\times\sqrt{2gh}}\ (39);$$

que nos puede servir para *encontrar el tiempo que se necesita para que salga por un orificio conocido, al cual esté adaptado un tubo adicional, una cierta cantidad de agua, de un depósito en que tambien se sabe la carga*; y *quiere decir que se hallará el espresado tiempo, dividiendo el gasto por el producto de* 0,81 *por la superficie del orificio y por la raiz cuadrada del producto del duplo de la gravedad por la carga.*

Ej. Supongamos que se quiera saber cuanto tiempo debería durar el desagüe de un depósito en Vergara, para que por un orificio de 6 pulgadas cuadradas, que tuviese un tubo adicional y una carga de 10 pies, saliesen 3000 pies cúbicos de agua.

Practicando la regla, encuentro 3354 segundos, que equivalen á 55 minutos y 54 segundos.

98 Si en la misma (ec. 37), despejamos h, resultará

$$h=\frac{Q^2}{1{,}3122\times g\times k^2\times t^2}\ (40);$$

la cual nos puede servir, *para encontrar la altura* h, *que se debe dar á un depósito sobre el centro de gravedad de un orificio* k, *al cual se adapte un tubo adicional, para que, en un tiempo conocido, salga por dicho orificio, tambien determinado, una cantidad de agua espresada por* Q; y esta fórmula nos dice *que se cuadre el número que represente la cantidad de agua que ha de salir, y esto se divida por el producto de* 1,3122 *por la gravedad en el parage donde se opera, por el cuadrado de la superficie* k *del orificio y por el cuadrado del número* t *de segundos.*

Ej. Si en la Habana quisiéramos determinar la altura que debía tener un depósito para que, en 10 minutos, saliesen 5000 pies cúbicos de agua por un orificio cuadrado, cuyo lado fuese 1 pie, hallaríamos 1,5113 pies; que hacen 1 pie 6 pulgadas y 2 líneas, que es la altura que se debe dar al líquido para que se verifique la condicion pedida.

99 Si, en estas fórmulas generales, ponemos en vez de g su valor en Madrid, que es 35,0961 pies españoles, y que se puede tomar como término medio para toda España, tendrémos análogamente á lo dicho (83), $Q=6,786244 \times k \times t \times \sqrt{h}$ (41); la cual suministra la siguiente regla práctica: *para encontrar la cantidad de agua ó el gasto que suministra un depósito, cuya altura se conoce, por un orificio dado, al cual esté adaptado un tubo adicional, en un cierto número de segundos*, se practicará lo siguiente. *Multiplíquese 6,786244 por la superficie del orificio, por el número de segundos y por la raiz cuadrada de la altura del agua en el depósito.*

Ej. Supongamos un estanque donde el agua esté 4 pies mas alta que el centro de gravedad de un orificio rectangular, que tenga un cañon adicional de la misma figura, cuyo lado horizontal sea de 4 pulgadas y el vertical de 3 pulgadas, que corra el agua por espacio de 6 horas; y que se pregunte cual será el gasto.

Haciendo el cálculo, hallo 24430,5 pies cúbicos.

100 Si quisiéramos averiguar la superficie que debía tener en Madrid ó cualquiera otro parage en que se pueda tomar la fuerza de la gravedad de dicha posicion por término medio, para que, en un tiempo dado, y con un tubo adicional, saliese por él una cierta cantidad de agua, de un depósito cuya altura fuese conocida, despejaríamos k en la (ec. 41); y tendríamos $k=\dfrac{Q}{6,786244 \times t \times \sqrt{h}}$ (42); la cual suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto que resulta de multiplicar 6,786244 por el tiempo y por la raiz cuadrada de la altura*, y se tendrá la superficie buscada.

Ej. Supongamos que se nos pida encontrar la superficie que deberá tener un orificio para que en 15 minutos puedan salir 2600 pies cúbicos de agua de un depósito, en que la superficie de este líquido se halla 10 pies mas alta que el parage donde se ha de colocar el centro del orificio que ha de llevar un cañuto adicional.

Siguiendo la regla, obtengo 0,1346 de pie cuadrado, que equivale á 19 pulgadas cuadradas y 55 líneas cuadradas.

101 Si nos propusiéramos hallar el tiempo que se necesitaría en Madrid para que por un orificio conocido, al cual se hubiese adaptado un tubo adicional, y con una carga que se nos dé, salga una cantidad determinada de agua, despejaríamos la t en la (ec. 41); lo

que dará $t=\frac{Q}{6,786244\times k\times\sqrt{h}}$ (43); que suministra la siguiente regla: *Divídase el gasto por el producto 6,786244, por la superficie del orificio, y por la raiz cuadrada de la carga.*

Ej. Supongamos que se quiera saber el número de segundos en que un orificio de 6 pulgadas cuadradas con su tubo adicional y una carga de 16 pies, dará 4200 pies cúbicos de agua.

Practicando la regla, encuentro 3713 segundos ó 1 hora, 1 minuto y 53 segundos.

102 Si dado el tiempo y la superficie del orificio, se buscase la altura que debía tener el agua en el depósito para que en Madrid saliese una cantidad determinada de agua, despejaríamos la h en la (ec. 41), y obtendríamos $h=\left(\frac{Q}{6,786244\times k\times t}\right)^2$ (44); que nos da la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto de 6,786244, por la superficie del orificio y por el tiempo, y elévese al cuadrado el cociente que resulte.*

Ej. Supongamos que un orificio de 4 pulgadas cuadradas de superficie, con su tubo adicional, deba suministrar en tres cuartos de hora 740 pies cúbicos de agua, y que se quiera encontrar la altura que deba tener la superficie del agua en el depósito respecto del centro de gravedad del orificio.

Haciendo el cálculo, hallo 2,114 pies, ó 2 pies, 1 pulgada y 4 líneas, que espresa la altura de la superficie del agua en el depósito sobre el centro del orificio.

103 Si, ademas de suponer que el desagüe se verifica en Madrid, se añadiese la circunstancia de que el orificio, que lleva un tubo adicional, fuese circular, podríamos obtener una fórmula mas sencilla todavía que la (41), sustituyendo en vez de k la superficie del círculo, ya con relacion al diámetro, ya con relacion al radio, ya con relacion á la circunferencia; pero por las razones dadas (37), nos limitarémos á poner la espresion de la mencionada superficie en valor del diámetro, lo que nos dará

$Q=6,786244\times0,785398163 4\times D^2\times t\times\sqrt{h}$; que ejecutando las operaciones, se convierte en $Q=5,329903574\times D^2\times t\times\sqrt{h}$ (45); cuya ecuacion suministra la siguiente regla práctica: *para determinar el gasto por un orificio circular al que se hubiese adaptado*

un tubo adicional, se multiplicará el número 5,329903574 por el cuadrado del diámetro del orificio, por el número de segundos, y por la raiz cuadrada de la carga.

Ej. Se deséa encontrar el gasto que produciría en 10 minutos un orificio de 2 pulgadas de diámetro, al cual se hubiese adaptado un tubo adicional con una carga de $2\frac{1}{2}$ pies. Practicando la regla, encuentro 140,5 pies cúbicos.

104 Si quisiéramos averiguar el diámetro que debe tener un orificio para dar salida á una cantidad determinada de agua, cuando se le hubiese adaptado un tubo adicional, en un tiempo dado y con una carga conocida, despejarémos la D en la (ec. 45), lo que nos dará $D=\sqrt{\frac{Q}{5{,}329903574\times t\times\sqrt{h}}}$ (46); que suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto de 5,329903574 por el número de segundos y por la raiz cuadrada de la altura; y de lo que resulte, estráigase la raiz cuadrada.*

Ej. Supongamos que se quiera encontrar el diámetro de un orificio, que lleva un tubo adicional, en el supuesto de que en 20 minutos y con una carga de 2 pies, produzca 65 pies cúbicos de agua.

Practicando la regla, encuentro 0,085 de pie, que equivale á 1 pulgada poco mas.

105 Si quisiéramos determinar el tiempo en que saldría una cantidad determinada de agua, por un orificio de un diámetro dado, y que llevase un tubo adicional, con una carga conocida, despejaríamos t en la (ec. 45); lo que nos dará $t=\frac{Q}{5{,}329903574\times D^2\times\sqrt{h}}$ (47); que da la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto de 5,329903574 por el cuadrado del diámetro y de la raiz cuadrada de la altura ó carga.*

Ej. Supongamos que se quiere saber en cuanto tiempo saldrán 900 pies cúbicos de agua por un orificio de 1 pulgada de diámetro y bajo una carga de 4 pies.

Siguiendo la regla, encuentro 3 horas, 22 minutos y 39 segundos.

106 Si se tratase de hallar cual debía ser la altura del nivel del fluido en el depósito, sobre el centro de un orificio cuyo diámetro fuese dado, y que llevase un tubo adicional, para que en un tiempo determinado, suministrase una cantidad conocida de agua, despejaríamos la h en la (ec. 45), y obtendríamos

$h = \left(\frac{Q}{5,329903574 \times D^2 \times t}\right)^2$ (48); que suministra la siguiente regla práctica: *Divídase el gasto por el producto de* 5,329903574, *por el cuadrado del diámetro y por el tiempo; y elévese al cuadrado lo que resulte, con lo cual se tendrá la altura pedida.*

Ej. Propongámonos determinar qué carga deberá darse al centro de un orificio circular, de 5 pulgadas de diámetro que lleva un tubo aditicio para que en media hora suministre 4500 pies cúbicos de agua.

Practicando la regla, encuentro que la carga que cumple con las condiciones de la cuestion es 3 pies, 6 pulgadas y 3 líneas.

CAPÍTULO VI.

Reflexiones generales acerca del movimiento del agua en vasos ó depósitos que no permanecen constantemente llenos; y determinacion del tiempo en que se vacia en todo ó en parte un depósito, cuya forma es prismática ó cilíndrica, por un orificio dado y con una carga determinada; en el supuesto de que el depósito no recibe agua ninguna, sinó que va quedando vacío al paso que se verifica la evacuacion.

107 La velocidad con que sale el fluido por un orificio cualquiera, depende de la diferencia de nivel entre la superficie superior del fluido en el depósito y el centro de gravedad del orificio, segun espresa la fórmula (6). De aquí se infiere que cuando se abre un orificio en un vaso ó depósito cualquiera, y este no recibe agua, el líquido de que se trata, al paso que va saliendo, se va disminuyendo su altura en el depósito; y por consiguiente va menguando la velocidad, de modo que el movimiento es retardado. Por lo cual cometería un grande error, el que habiendo abierto un tonel, pipa ó cuba, y habiendo estraido por la *espita* ú orificio, en una hora por ejemplo cuarenta botellas de vino, se figurase que en las dos horas siguientes obtendría ochenta botellas, ó veinte en la media hora que seguía.

108 Por esta razon, es indispensable ocuparse en particular de esta materia, que ofrece grandes dificultades cuando la figura del vaso no es regular, y que solo se puede resolver haciendo uso del Cálculo Integral en cada caso cuando el vaso tiene la figura de un cuerpo de revolucion. Pero si el vaso ó depósito tiene la forma de un pris-

ma ó un cilindro, se puede resolver con mucha facilidad y bastante satisfactoriamente esta cuestion. *Determinar en cuanto tiempo se vaciará en parte ó en todo un depósito cuya forma es prismática ó cilíndrica.*

En efecto, llamando K la superficie del depósito, k la del orificio, h la altura de la superficie del agua en el depósito sobre el centro de gravedad del orificio, y u la altura que deba tener el agua en el depósito, cuando ha de cesar la evacuacion, por t el espresado tiempo, y por g la fuerza de la gravedad, hemos obtenido (§573 Mec.) la ecuacion que allí hemos señalado con el número (688), y es la que sigue $t = \frac{2K}{k\sqrt{2g}} \times \left(\sqrt{h} - \sqrt{h-u}\right)$ (49); y para deducir el tiempo en que se vacia enteramente el vaso, no hay mas que suponer que u sea igual con h; en cuyo caso la ecuacion anterior se nos convierte, despues de simplificada, en $t = \frac{K}{k}\sqrt{\frac{2h}{g}}$ (50); que es la que allí hemos señalado con el número (689).

109 La primera, traducida en regla quiere decir, *que para encontrar el tiempo en que se ha de vaciar en parte un depósito hasta que la altura del líquido sobre el centro del orificio se reduzca á* u, *se dividirá el doble de la superficie del líquido* (que es igual con la superficie de la base del depósito por ser este cilíndrico ó prismático), *por el producto de la superficie del orificio, por la raiz cuadrada del doble de la fuerza de la gravedad; y este cociente se multiplicará por la diferencia de las raices cuadradas de la altura total, y de la que resulte cuando cesa la evacuacion.*

110 Y la segunda, que *para encontrar el tiempo en que se vaciará enteramente el depósito, se dividirá el doble de la altura ó carga por la fuerza de la gravedad; de este se estraerá la raiz cuadrada; y esta se multiplicará por la relacion de la superficie del líquido ó base del depósito á la superficie del orificio.*

111 Aquí debemos tener en consideracion la contraccion de la vena fluida; la cual será variable á cada instante, y ofrecerá dificultades insuperables para determinarla con toda exactitud segun la regla (61); pero en estos casos lo que se debe tomar por altura ó carga para aplicar la regla es un término medio entre la altura mayor y la menor, ó la mitad de la altura total si se ha de hacer uso de la (ec. 50).

Suponiendo, como se suele hacer generalmente, que el orificio se haga en paredes delgadas, deberémos multiplicar la k por 0,62; y si dividimos el 2 del numerador por 0,62, la (ec. 49) se convertirá en

$$t=\frac{3,225806K}{k\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h}-\sqrt{h-u}\right)$$ (51), que es la (702 Mec.).

112 Y si sale el agua por un tubo adicional, multiplicando k por 0,81, y dividiendo el 2 del numerador de la misma ecuacion, por este número, resulta $t=\frac{2,469136K}{k\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h}-\sqrt{h-u}\right)$ (52); que es la (703 de Mec.); las cuales convienen á cualquier parage del Globo; pues está en ellas indeterminada la fuerza g de la gravedad.

113 Sustituyendo por g, su valor 35,0961 pies, estrayendo la raiz cuadrada y dividiendo por ella el factor numérico del numerador, las tendrémos convertidas para Madrid y todos aquellos parages de la Península á que puede convenir su gravedad por valor medio, en las siguientes:

Para las paredes delgadas, se tiene $t=0,385029\frac{K}{k}\left(\sqrt{h}-\sqrt{h-u}\right)$ (53).

Y para cuando se ponen tubos aditicios, resulta

$$t=0,294714\frac{K}{k}\left(\sqrt{h}-\sqrt{h-u}\right)$$ (54).

La primera nos dice que *para encontrar el tiempo que tarda en vaciarse un estanque ó depósito de forma prismática ó cilíndrica, hasta una cierta altura determinada, se debe multiplicar el número constante* 0,385029 *por el cociente que resulte de dividir la superficie del depósito por la del orificio, y vuelto esto á multiplicar por la diferencia entre la raiz cuadrada de la altura total y la raiz cuadrada de esta misma altura disminuida en la altura hasta que se ha de vaciar el depósito.*

Ej. Supongamos que *un estanque cuya superficie contiene* 500 *pies cuadrados y una altura de* 9 *pies, se quiere vaciar hasta la altura de* 5 *pies, por un orificio de medio pie en cuadro, que es lo mismo que* $\frac{1}{4}$ *de pie cuadrado* * *y que se quiera determinar*

* Si alguno tiene dificultad en esto de pies en cuadro y cuadrados, puede consultar el § 237 y siguientes de mi Aritmética de niños.

el tiempo. Para conseguirlo, segun la regla, multiplicaré el número 0,385029 por el cociente de dividir 500 por $\frac{1}{4}$, que da (151 Ar. de N.) 2000, y ejecutando dicha multiplicacion, resultará 770,058; ahora debemos multiplicar este valor por la diferencia entre la raiz cuadrada de 9, que es 3 y la de 9 ménos 5, que es 2; y como 3 ménos 2 es 1, y de multiplicar el 770,058 por 1, resulta el mismo 770,058, tendrémos que *se vaciará hasta la altura dicha en 770 segundos de tiempo.*

114 La fórmula para cuando sale el agua por tubos aditicios, nos da la siguiente regla práctica: *multiplíquese el número* 0,294714 *por el cociente que resulta de dividir la superficie del depósito por la del orificio; y todo esto por la diferencia que hay entre la raiz cuadrada de la altura total y la raiz cuadrada de la diferencia entre la altura total y la en que debe parar el desagüe.*

Ej. Si suponemos los mismos datos que en la cuestion anterior, y ademas un tubo adicional, siguiendo la regla, multiplicarémos 0,294714 por 2000, y hallamos 589,428; lo que nos da ménos tiempo, á causa de que siendo menor la contraccion, sale mas agua en cada instante, y por consiguiente en ménos tiempo se vaciará hasta la misma altura.

115 El determinar el tiempo en que se vacía completamente un depósito es algo incierto; porque al acabar de salir el agua, se forma, á cierta altura, una especie de remolino, caracol ó embudo en la boca del orificio, que hace dudoso el fin de la salida; pero las fórmulas anteriores, suponiendo la altura u, igual con toda la altura h, se convierten:

La que sirve para cuando el orificio se hace en paredes delgadas, en $t=0{,}385029\frac{K}{k}\sqrt{h}$ (55); que traducida en regla dice que *se hallará el tiempo total en que se vacía un depósito prismático ó cilíndrico, multiplicando el* 0,385029 *por el cociente de dividir la superficie del depósito por la del orificio, y vuelto á multiplicar por la raiz cuadrada de la altura total*; así es, que haciendo aplicacion al mismo estanque, hallarémos que se vacía completamente en 2310 segundos.

116 La fórmula (54) para determinar el tiempo en que se vacía completamente un depósito de la forma enunciada, cuando sale el

agua por tubos adicionales, se convierte en $t=0,294714\frac{K}{k}\sqrt{h}$ (56); que nos suministra la siguiente regla práctica: *multiplíquese el número* 0,294714, *por el cociente de la superficie del depósito dividida por la del orificio, y lo que resulte se volverá á multiplicar par la raiz cuadrada de la altura.*

Ej. Haciendo aplicacion al mismo estanque de ántes, se halla en este caso 1768 segundos.

Ya hemos manifestado (§ 5 libr. 2°) que los antiguos, fundados en esta teoría, formaron los relojes de agua, á que llamaron *Clepsidros*, y hemos indicado las circunstancias que reunía el ingenioso de *Ctesíbio*; pero debemos advertir que, como objeto de una ilustrada curiosidad, es sumamente interesante; mas para medir el tiempo con exactitud, en el dia, no se puede emplear con ventajas respecto de los otros medios conocidos.

CAPÍTULO VII.

De la medicion de las aguas que salen por orificios verticales de tamaño sensible, ya sean rectangulares cerrados ó abiertos por la parte superior, ya sean circulares, y ya se considere el agua en reposo ó en movimiento.

117 La fórmula (23) nos sirve para encontrar el gasto que puede suministrar un orificio de magnitud sensible en comparacion de la superficie del depósito, y se puede aplicar, segun opinan todos los Autores, que hablan de ella, para cuando el orificio tiene una posicion cualquiera, esto es, para cuando se halla en un plano horizontal, en un plano vertical, ó en un plano inclinado. Nosotros hemos manifestado en la nota del (§ 45) que cuando el orificio está en un plano inclinado al horizonte se debía suspender el juicio hasta que la esperiencia decidiese cual opinion debía prevalecer, si la mia ó la de los demas Autores. Mas como los Matemáticos han hecho todo género de esfuerzos para adelantar esta interesante materia, se han ocupado directamente de resolver las cuestiones relativas á la evacuacion por orificios, recurriendo á métodos independientes de los que han conducido á la mencionada ecuacion (23); por lo que el objeto del presente capítulo es el dar á conocer las fórmulas para la salida

del agua por orificios hechos en paredes verticales, ya tengan estos la forma rectangular, comprendiendo los dos casos de estar cerrados ó abiertos por la parte superior, ó ya tengan la forma circular.

118 Ocupémonos ante todas cosas de los orificios rectangulares cerrados por arriba, proponiéndonos la siguiente

Cuestion. *Determinar la cantidad de agua ó de cualquier otro fluido ó líquido, que sale de un depósito, que permanece constantemente lleno, por un orificio rectangular vertical de cualesquiera dimensiones y en un tiempo determinado.*

Este es el caso que se presenta generalmente cuando se trata de llenar una esclusa por el agua que hay en el trozo superior de un canal, ó cuando en un depósito de agua cualquiera se levanta una compuerta hasta una cierta altura, para que por el hueco que ella deja entre su parte inferior y la base sobre que insiste, salga una cierta cantidad de agua para mover una rueda hidráulica en algun establecimiento industrial, para regar una determinada cantidad de terreno, ó para satisfacer á cualquier otro objeto de necesidad ó conveniencia de los pueblos.

Supongamos que $LMNP$ (figuras 29 y 30) represente una puerta de una esclusa ó una pared de un estanque ó depósito cualquiera de agua; y que $ABCD$ sea la abertura rectangular que resulta cuando se sube la compuerta, ó lo que se suele llamar *postigo* de la esclusa. Si espresamos por H la altura OH del nivel superior de las aguas sobre AB, lado inferior de la abertura rectangular; por h la altura Oh sobre DC, lado horizontal superior de la abertura; por l el lado AB de la espresada abertura, por t el número de segundos en que se verifica el desagüe, y por Q el gasto, tendrémos la siguiente fórmula $Q=\frac{2}{3}\times l\times t\times\sqrt{2g}\times(\sqrt{H^3}-\sqrt{h^3})$ (57); * la cual, traducida

* *Para deducirla, debemos observar que la velocidad que tenga el filete de agua próximo al lado* AB (*figs.* 29 *y* 30), *que es el inferior de la abertura, será la debida á* OH, *altura del agua en el espresado trozo de canal sobre dicho lado; la velocidad que tenga el agua correspondiente al filete próximo á* CD, *será la debida á la altura* Oh; *y la velocidad con que salga el agua de un filete cualquiera, que, mientras mas delgado lo supongamos, será mejor, estará representada por la debida á la altura que esprese la distancia que haya entre el punto* O *y la línea que sirve de base inferior al filete, cuyo grueso se deberá concebir tan pe-*

en regla, nos dice que para *encontrar el gasto del agua que sale por una abertura rectangular de un tamaño sensible, y forma embudada, se tomen los dos tercios del producto que resulte de multiplicar el lado horizontal del rectángulo que forma la abertura, por el número de segundos que dura la evacuacion; lo que resulte por la raiz cuadrada del duplo de la fuerza de la gravedad; y lo que se obtenga, por la diferencia entre la raiz cuadrada del cubo de la carga sobre el lado inferior del rectángulo y la raiz cuadrada del cubo de la carga sobre el lado superior del mismo rectángulo que forma la abertura.*

119 Hagamos aplicacion al mismo caso (9), sin mas diferencia que suponer vertical el orificio.

---

queño como se quiera: en el concepto de que, mientras mas pequeño sea, con mas exactitud estableceremos nuestro cálculo. De manera, que la velocidad irá creciendo de alto á bajo en el orificio, y será constante en todos sus elementos horizontales. Esto supuesto, concibamos que uno cualquiera de los filetes se halle representado por EFfe, *cuyo grueso* Ii *debiendo suponerle sumamente pequeño para que todas las partículas de fluido que salgan por él, se puedan suponer animadas de la misma velocidad, resulta que el grueso* Ii *de este filete deberá ser lo que se llama un* infinitamente pequeño; *luego si espresamos la* OI *por* x, *el grueso* Ii *estará representado por* Δx, *y debemos advertir que todo lo que vamos á esponer, será tanto mas exacto, cuanto mas se acerque* $Ii=\Delta x$ *á* dx *ó* 0. *Por lo que indicarémos desde luego el límite de* $Ii=\Delta x$, *que es* dx. *En este caso, todos los elementos ó moléculas de agua, que salgan por el mencionado filete elemental estarán dotados de una misma velocidad, que como es la debida á la altura* OI=x, *estará representada* (ec. 679 de Mec.) *por* $\sqrt{2gx}$; *la superficie del filete, espresando por* l *su longitud horizontal* AB=EF, *que es la de la abertura, lo estará por* $l \times dx$; *luego en la unidad de tiempo, saldrá por dicho filete elemental* EFfe, *considerado en su límite, una cantidad de fluido espresada* (7) *por su superficie, multiplicada por la velocidad; luego estará representada por* $l \times dx \times \sqrt{2gx}$; *y en el tiempo* t *saldrá una cantidad de fluido espresada por* $t \times l \times dx \times \sqrt{2gx}$. *Si llamamos* Q *el gasto ó fluido que sale por todo el orificio* ABCD, *la espresion* $t \times l \times dx \times \sqrt{2gx}$

Preparemos primero la fórmula para que sirva en Madrid y en todos los parages que puedan reputarse con la misma situacion media. Para lo cual observarémos que en Madrid

$\sqrt{2g}=\sqrt{70,1922}=8,378078$; y tomando los dos tercios, lo que se consigue (147 Ar. de N.) multiplicando por 2 y dividiendo por 3, resulta $\frac{2}{3}\cdot\sqrt{2g}=5,585385$; por lo que la fórmula anterior, preparada para Madrid, será $Q=5,585385\times l\times t\times(\sqrt{H^3}-\sqrt{h^3})$ (58); en la que, para nuestra cuestion, l vale 1 pie, pues suponemos que la abertura es un cuadrado de 1 pie de lado; luego multiplicando por 1, se tendrá el mismo número 5,585385; y como t vale 86164 segundos, resultará que multiplicando 5,585385 por 86164, obtendrémos 481259,11314.

Ahora, pues, allí habíamos supuesto que la altura del nivel del fluido sobre el centro del orificio era 10 pies, y el orificio

---

que representa la cantidad de fluido que sale por el filete EFfe, *que es un elemento del gasto total* Q, *será igual con* dQ; *luego tendrémos* $dQ=t\times l\times dx\times\sqrt{2gx}$; *y para encontrar el gasto total que producirá la abertura* ABCD, *no tendrémos mas que integrar esta espresion; lo que nos dará*

$$Q=\int.t\times l\times dx\times\sqrt{2gx}=\int.t\times l\times\sqrt{2g}\times x^{\frac{1}{2}}\times dx=t\times l\times\sqrt{2g}\times\frac{x^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}+C=$$
$$=\tfrac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times x^{\frac{3}{2}}+C.$$

Para determinar la constante C, *observarémos que la integral completa, ó el gasto total debe ser cero, cuando la base* EFfe *se confunda con* DC, *que es cuando* $x=Oh=h$; *pues estónces no hay abertura; luego tendrémos*

$0=\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times h^{\frac{3}{2}}+C$; *que da* $C=-\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times h^{\frac{3}{2}}$; *y sustituyendo este valor en el de* Q, *será* $Q=\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times x^{\frac{3}{2}}-\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times h^{\frac{3}{2}}$. *Para que esta espresion nos suministre el agua que salga por toda la abertura* ABCD, *deberémos hacer* $x=OH=H$; *y tendrémos por último* $Q=\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times H^{\frac{3}{2}}-\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}\times h^{\frac{3}{2}}=\frac{2}{3}\times t\times l\times\sqrt{2g}(\sqrt{H^3}-\sqrt{h^3})$, *que es la del testo.*

tiene 1 pie de altura, su lado inferior distará de la superficie del nivel $10\frac{1}{2}$ pies ó 10,5 pies; y el lado superior del cuadrado distará de la superficie del mismo nivel $9\frac{1}{2}$ pies ó 9,5. Por consiguiente, formando el cubo de 10,5 y estrayendo de él la raiz cuadrada, se obtiene 34,0239; formando el cubo de 9,5 y estrayendo la raiz cuadrada se saca 29,2809; restando estas dos raices, obtengo 4,7430; y por último, si multiplico este número por 481259,11314, saco 2282611,97; cuyo resultado se diferencia del obtenido (9) en que este tiene 202 pies cúbicos ménos que aquel.

Si comparamos este resultado con el obtenido (46) por la fórmula (24), hallamos que el acabado de sacar contiene 2994 pies cúbicos ménos de agua que el suministrado por la espresada fórmula (24) *.

120 Despejando en las (ec.^{s} 57 y 58) las l,t,H,h, tendrémos ecuaciones que nos podrán servir para encontrar una cualquiera de estas cantidades, conocido que sea el valor de las otras; pues $\sqrt{2g}$ es siempre dada en cualquier parage de la tierra por la cuestion resuelta (§ 5).

Si el orificio no tiene la forma embudada, será preciso atender á la contraccion, determinando el coeficiente por el procedimiento del capítulo tercero.

121 *Belidor*, *Bossut*, *Bails* &c. determinan tambien el gasto por aberturas triangulares, que omitimos por no tener grandes aplicaciones en la práctica; pero en lo que si nos detendrémos, por no ser suficientemente conocido, es en manifestar el modo de hallar la cantidad de agua que sale por las aberturas rectangulares que están descubiertas por la parte superior, (que es el caso que presentan las cascadas, los rebosaderos, las presas, las azudes, y las aberturas de descarga (á que suelen llamar *ladrones*) de las esclusas ó de los canales que conducen el agua á los molinos ó á cualquier máquina hidráulica; ya porque esta doctrina se halla en pocos libros, y ya tambien porque en la mayor parte de los que la contienen, se halla tratada de un modo inexacto.

122 En efecto, la regla que da *Mr. Belidor* (§ 526 del libro primero de su Arquitectura Hidráulica) para medir el agua que corre por una cascada ó por una abertura rectangular, en que por la parte

* Sería de la mayor importancia el que se averiguase por los mas exactos esperimentos cual de estas tres fórmulas era preferible; pues aunque la diferencia entre los resultados no llega á $\frac{1}{800}$ tiene sin embargo un valor sensible.

superior pasa el líquido á cielo descubierto, es absolutamente falsa; y la que deducen la mayor parte de los Autores lleva envuelta la fuerza de la gravedad y no pueden servir para localidades diferentes de aquellas para que están sacadas. La que pone *Mr. Dubuat* tambien adolece de inexactitud, á pesar de que el método que sigue es mas rigoroso, que el de *Belidor*. Para convencernos de esto, observarémos que este Sabio dice en el (§ 142 del primer tomo de sus *Principios de Hidráulica*).

«Sea un depósito *ABCD* (fig. 31, lámina 3.ª que es la 16 de su espresado primer tomo) constantemente lleno, cuya superficie sea *AB*; si en una de sus caras *BC*, se hace una abertura, por la cual el agua se pueda escapar, cuya altura *BF* espresarémos por h, y cuyo ancho lo representarémos por z; y se supone que el agua que sale por dicha abertura sea recibida en otro depósito ó lecho, cuya superficie sea mas baja que el punto *F*, ó al ménos que esté al mismo nivel que dicho punto: se pide hallar el gasto de agua que saldrá por la espresada abertura.

» *Solucion de Mr. Dubuat.* Si el agua se pudiese sostener horizontalmente hasta *B*, la altura *BF* podría considerarse como la del orificio; y la caida media, debida á la velocidad con que sale, será igual con $\frac{4}{9}h$. Así, suponiendo tambien que la contraccion del orificio es nula, resultaría que la velocidad media, estaría espresada por $\sqrt{2g\times\frac{4}{9}h}=\sqrt{724\times\frac{4}{9}h}$; y el gasto sería $\sqrt{724\times\frac{4}{9}h}$; esta es la teoría ordinaria.

» Pero los efectos naturales son bien diferentes, y el primer supuesto es imposible; porque el agua, ántes de llegar á la parte superior de la abertura, cascada, rebosadero, desagüe, azud ó ladron forma en su superficie una curva, y sufre una caida, que disminuye considerablemente la altura del orificio, conservando sin embargo la misma carga *BF* para los filetes inferiores. Entónces se verifican las mismas circunstancias que si el agua pasase por debajo de una compuerta que ocupase la parte *BI* detras de la cual el agua se sostuviese á nivel en la superficie *AB* del depósito. No hay duda que la altura *IF* debe depender de la altura entera *BF*, y que debe existir una relacion entre estas cantidades; esto es, lo que han confirmado nuestros esperimentos, y hemos hallado por relacion la de 1 á 2. Es verdad que no hemos verificado el hecho por una medida exacta; pues lo hemos deducido solo de los gastos relativos á diferentes cargas sobre el depósito. Así es, que sin poder asegurar

que el agua baja real y exactamente la mitad de su altura sobre el depósito, se verá sin embargo que los gastos calculados, en virtud de esta hipótesis, se conforman bastante bien con la esperiencia."

Y en este supuesto indica el modo de resolver esta cuestion sintéticamente haciendo uso de la parábola que se ve construida en la misma figura, y analíticamente por el Cálculo Infinitesimal.

124 *Mr. Navier* en la nota (cm) puesta en el § 526 del primer tomo de la *Arquitectura Hidráulica de Belidor*, despues de indicar que la regla de este Autor es falsa, dice:

"Sería bien importante que se pudiese dar una regla exacta sobre este particular, fundada en un número suficiente de esperimentos hechos en grande. Pero, en el ínterin, darémos á conocer, lo que hasta ahora se sabe. Concibamos un vaso que permanezca siempre lleno (fig. 32, lám. que es la 10 de la lámina *C* de Belidor); y que en una de sus caras laterales esté adaptado un orificio rectangular, abierto en su parte superior, y cuyas caras laterales é inferior tengan una forma embudada, de manera que todos los filetes de la vena fluida salgan con direcciones paralelas entre sí, á fin de que no haya ninguna contraccion. Sucederá que la superficie del fluido, al acercarse á la salida, se bajará en el vaso (cuya estension se supone considerable con relacion á la del orificio), de manera, que el agua, en lugar de correr sobre la altura *ed*, no correrá mas que sobre una porcion de esta altura de orificio, tal como *cd*. Es muy verosímil por otra parte que el movimiento se efectúe sobre la altura *cd* como en un orificio que estuviese cerrado por encima, pero esta altura es desconocida."

124 Para determinarla, *Mr. Navier* con una sagacidad y tino que le son peculiares en estas importantes materias, hace uso de los principios mas sublimes del Cálculo Infinitesimal y de la Mecánica, y deduce que la altura *cd* (fig. 32) sobre la cual el agua permanece en el orificio es 0,72474 de la altura *ed*, es decir, poco mas de los $\frac{7}{10}$ de la altura de la superficie del fluido sobre el fondo de la abertura; y para el gasto en un segundo, llamando l el ancho de la abertura y z la altura total, saca $\frac{2}{3} l \times \sqrt{2g} \times \left(1-(0,2753)^{\frac{3}{2}}\right) \times z^{\frac{3}{2}}$.

125 *Mr. Robison* en la obra intitulada *The Edimburgh Enciclopœdia*, *artículo Hidrodynamics*, dice, que ha encontrado por medidas inmediatas, que *la altura de que se trata es muy aproximadamente los $\frac{5}{7}$ de la carga total*, cuyo resultado, que equivale á 0,71429 difiere bien poco del obtenido teóricamente por *Mr. Navier*;

Por lo cual fundándonos en este dato de *Mr. Robison*, vamos á deducir nosotros de la (ec. 57), la fórmula que conviene á este caso.

126 Para esto no tenemos que hacer mas que suponer en dicha ecuacion $h=\frac{2}{7}H$; y puesto que la *cd* (fig. 32) ha de ser $\frac{5}{7}$ de la altura total *ed*, la parte *ec*, que espresa lo que ha descendido el agua del depósito al acercarse á la abertura de salida, será los $\frac{2}{7}$ de la misma *ed*.

Haciendo la espresada sustitucion en dicha fórmula (57), nos resulta $Q=\frac{2}{3}\times l\times t\times\sqrt{2g}\times\left(\sqrt{H^3}-\sqrt{(\frac{2}{7})^3H^3}\right)=\frac{2}{3}l\times t\times\sqrt{2g}.(1-\sqrt{(\frac{2}{7})^3}).\sqrt{H^3}$.

Para reducir á un solo número el factor $1-\sqrt{(\frac{2}{7})^3}$, deberémos observar que $\sqrt{(\frac{2}{7})^3}$, es lo mismo que *hallar la raiz cuadrada del cubo de* $\frac{2}{7}$: y como el cubo de $\frac{2}{7}$ es (240 Ar. de N.) $\frac{8}{343}$, que reducido á decimales (170 Ar. de N.) se convierte en 0,02332362; y estrayendo la raiz cuadrada, se obtiene (228 Ar. de N.) 0,15272; si restamos este valor, de la unidad, sacarémos por diferencia el número 0,84728; el cual multiplicado por el factor constante $\frac{2}{3}$, lo que se consigue multiplicando primero por 2, y dividiendo luego por 3, resulta por último 0,564853; por lo que la fórmula definitiva para encontrar el gasto por un orificio rectangular abierto por arriba, hecho en un depósito bastante grande, con relacion á la abertura, es la siguiente $Q=0,564853\times l\times t\times\sqrt{2gH^3}$ (59). La cual suministra la siguiente regla práctica; *para encontrar el gasto hecho por una abertura rectangular de desagüe de un canal, á que se suele llamar* ladron, *ó de una cascada &c. cuando dicha abertura tiene la forma embudada y no hay contraccion, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por el cubo de la carga total ó altura de la superficie del agua en el depósito sobre el fondo de la abertura; de este producto se estraerá la raiz cuadrada; esta se multiplicará por el número de segundos que dura el desagüe; lo que resulte se volverá á multiplicar por el ancho de la abertura, y el producto que se obtenga, se volverá á multiplicar por el número constante* 0,564853, y el resultado espresará en pies cúbicos el gasto de la mencionada abertura.

Ej. Supongamos que el ancho *eb* de la abertura rectangular hecha en el depósito (fig. 32) sea de 5 pies, que la altura ó carga sea de 6 pies, que se quiera saber la cantidad de agua que saldrá en una hora, que se compone de 3600 segundos, y que el estanque

ó depósito se halle en Madrid, como en el Retiro, Moncloa, huerta de la casa de los Pozos &c.

Siendo la fuerza de la gravedad en Madrid 35,0961 pies españoles, su duplo será 70,1922; y siendo la carga total 6 pies, su cubo será 216; multiplico 70,1922 por 216 y hallo 15161,5152; de este producto estraigo la raiz cuadrada y encuentro 123,132105; lo que multiplico por 3600, que son los segundos que dura el desagüe, y obtengo 443275,578; multiplico este número por el ancho de la abertura que es 5 pies, y hallo 2216377,89; lo que vuelvo á multiplicar por el número constante 0,564853 y obtengo por último 1251927,7003; y despreciando la fraccion decimal que sigue al 7, porque no llega á 5, digo que el gasto en el espresado tiempo es 1251927,7 pies cúbicos de agua.

127 Si en la (ec. 59) despejamos la l, tendrémos

$$l=\frac{Q}{0{,}564853\times t\times\sqrt{2g\times H^3}}$$ (60); que traducida en regla nos dice: que *para encontrar el ancho que se debe dar á un orificio lateral de forma rectangular y abierto por arriba para que, con una carga dada suministre una cantidad determinada de agua en un tiempo tambien dado, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por el cubo de la carga total ó altura de la superficie del agua en el depósito sobre el fondo de la abertura; de este producto se estraerá la raiz cuadrada; esta se multiplicará por el número de segundos que dura el desagüe; lo que resulte se volverá á multiplicar por el número constante* 0,564853; *y por el producto que resulte, se dividirá el gasto dado*; con lo cual se obtendrá el ancho pedido.

Ej. Supongamos que se quiera determinar el ancho que deba tener un orificio rectangular y lateral abierto por arriba para que en Manila, donde la fuerza de la gravedad es 34,9891 salgan en 20 minutos 45000 pies cúbicos con una carga de 3 pies.

Practicando la regla, encuentro 1,527 de pie, que equivale á 1 pie 6 pulgadas y 4 líneas, tomando una línea en vez de la fraccion de línea que resulta por pasar de 0,5.

128 Si en la misma (ec. 59) despejamos la t, hallarémos

$$t=\frac{Q}{0{,}564853\times l\times\sqrt{2g\times H^3}}$$ (61), *la cual nos dice, que para encontrar el tiempo que ha durado, puede ó debe durar el desagüe,*

conocido que sea el gasto, el ancho de la abertura y la altura total del agua en el depósito sobre el fondo de la abertura, se multiplicará el duplo de la fuerza de la gravedad por el cubo de la carga total, de este producto se estraerá la raiz cuadrada; esta se multiplicará por el ancho de la abertura y el producto se multiplicará por el número constante 0,564853; *y dividiendo el gasto por este producto hallado, se tendrá el tiempo que ha durado, ó puede durar el desagüe expresado en segundos.*

Ej. Supongamos que se nos pregunte qué tiempo debe durar el desagüe, para que con una carga de 4 pies y un orificio rectangular abierto por arriba, de 3 pies de ancho, se produzca en Valencia un gasto de 24000 pies cúbicos.

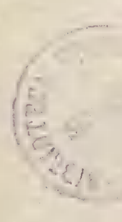
Practicando la regla encuentro 211 segundos, ó lo que es lo mismo 3 minutos y 31 segundos.

129 Si en la citada (ec. 59) despejamos la H, obtendrémos

por último $H=\dfrac{Q^{\frac{2}{3}}}{0,68332\sqrt[3]{l.^2t.^2 2g}}$ (62).

130 Las personas versadas en los mas sencillos rudimentos de Matemáticas, podrán hacer fácilmente aplicacion de esta fórmula; pero como hemos prometido que todo lo que espongamos ha de estar al alcance de los que solo poséan los conocimientos de mi Aritmética de Niños, vamos á manifestar otro método para determinar la carga ó altura H, el que producirá la ventaja de familiarizar al lector con un procedimiento, por el cual se salvan en grandísima parte las dificultades insuperables que presenta el Álgebra sobre la resolucion de las ecuaciones superiores al segundo grado. Con este objeto nos propondrémos resolver la siguiente

Cuestion. *Determinar en Madrid la carga ó altura que deberá tener el agua en un depósito, para que por una abertura rectangular de cinco pies de ancho salgan en una hora* 1251927,7 *pies cúbicos de agua: aqui sabemos que la altura buscada ha de ser* 6 *pies, á causa de que los datos son los mismos de la cuestion anterior, y los hemos elegido ex-profeso para confrontar los resultados y que se presente á los sentidos la exactitud del método.* Para esto, lo que harémos ante todas cosas es sustituir los datos conocidos en la (ec. 59); y tendrémos



$1251927,7=0,564853\times5\times3600\times\sqrt{70,1922H^3}$; estrayendo la raiz

cuadrada de 70,1922 y haciendo todas las multiplicaciones del segundo miembro se nos convierte en $1251927{,}7=85182{,}89\times\sqrt{H^3}$.

Dividiendo el primer miembro por 85182,89 número constante del segundo, resulta $14{,}6969=\sqrt{H^3}$ (63).

Luego todo está reducido á encontrar el valor de H que satisface á esta cuestion. Sabemos que H es igual con 6, y aunque no lo supiéramos, por escasos que sean los conocimientos que se supongan en la persona á quien pueda ocurrir el hacer esta aplicacion, ya sobre poco mas ó ménos conocerá que el número buscado no podrá diferir mucho del espresado número 6; pero no obstante, nosotros, para dar á conocer la exactitud admirable del método que vamos á emplear, harémos nuestro cálculo, como si á la persona para quien lo destinamos, no le ocurriese á primera vista un número aproximado al verdadero, ó al ménos para evitarle este cuidado; y así, dejarémos enteramente á su arbitrio, que elija por sí el número que primero se le ocurra, y enseñémosle á encontrar el verdadero resultado.

Supongamos, pues, que se tome para H el número 1000, que está bien distante del verdadero que es 6; pues vamos á ver como aun con este supuesto, que se puede graduar de bien disparatado en virtud de los datos de la cuestion, podemos hallar el verdadero valor de H. Para formar el cubo de este primer número supuesto no tenemos mas que multiplicarle dos veces de seguida por sí mismo; luego deberémos decir, 1000 por 1000 da 1000000 y vuelto á multiplicar esto por 1000 da 1000000000; de esto estraigo la raiz cuadrada (228 de Ar. de N.), y saco 31622,777. Este número es mucho mayor que 14,6969; por lo que resto este de él, y saco por diferencia 31608,0801; y como el número que resulta de suponer 1000 en vez de H es mayor que el 14,6969, digo que esta diferencia, este error, ó esta equivocacion es por *exceso* y le señalo con el signo *mas*, de modo que el lenguage que se debe adoptar es que el número supuesto 1000 da un error de $+31608{,}0801$.

Como el resultado que ha dado el supuesto 1000 es mayor de lo que correspondía, pues ha producido 31622,777, cuando debía dar solo 14,6969, esto me indica que H ha de ser menor que 1000.

Supongamos que sea 100; y para elevarle al cubo, diré 100 por 100 da 10000; y vuelto á multiplicar por 100 da 1000000, que estrayendo la raiz cuadrada, se tiene 1000; valor tambien mayor que el 14,6969; por lo que resto este de aquel y hallo una diferencia ó error, que, como tambien es por exceso, señalo con el

signo +, y digo *que el segundo número supuesto* 100 *da un error de* + 985,3031; y como este es menor que el producido por el 1000, infiero que el verdadero número se acerca mas á 100 que á 1000 y que debe ser menor que 100, pues este da un valor mayor que el verdadero.

131 Ahora podría suponer en vez de *H*, otro número cualquiera, y podría verificar análogamente si era el que correspondía; pero esto nos conduciría de un modo muy largo, indirecto, penoso, incierto y casual al verdadero valor de *H*. Por lo cual, el método consiste, ya que se han hecho dos supuestos, en seguir un rumbo que cada vez nos acerque directa y precisamente al verdadero número, hallando la correccion que se debe hacer al número supuesto que mas se aproxime al buscado; lo que se consigue formando la proporcion ó regla de tres, que hemos establecido (Nota del § 310 *I T. E.*), á saber: *La suma de los errores* (*cuando ambos tienen diferente signo*), *ó su diferencia* (*cuando tienen un mismo signo*) es *á la diferencia de los dos números supuestos*, como *uno de los errores* (*que convendrá sea el que tenga menor valor numérico*) es á *la correccion que se debe hacer al número de que proviene*. Se halla el cuarto término por lo establecido (§ 250 de Ar. de N.); lo que resulte se añade al espresado número supuesto, si el error que dió era por defecto ó se resta del mismo número si el error que dió era por esceso. Con lo cual se tendrá ya un número que se acercará bastante al verdadero.

Se sustituye por *H* en la (ec. 63), se cubica, se estrae la raiz cuadrada del resultado; se ve la diferencia que este guarda respecto del primer miembro 14,6969, y se señala el error que produce con el signo + si el resultado es mayor que 14,6969 y con el signo — si es menor. Se forma otra proporcion análoga con los dos errores ó equivocaciones que tengan menor valor numérico, y se continúa del mismo modo hasta obtener el grado de aproximacion que nos convenga segun la naturaleza de la cuestion.

Apliquemos este procedimiento á nuestro caso; y puesto que los dos errores son por exceso, y que el número supuesto 100, es el que mas se aproxima al que buscamos, diré 30622,7770 (diferencia de los errores 31608,0801 y 985,3031) : 900 (diferencia de los dos números supuestos 1000 y 100 de que provienen dichos errores) :: 985,3031 (que es el error que tiene menor valor numérico) : á la correccion que se debe hacer al número 100, de que proviene dicho menor error, que aquí es el 100. Para encontrar este cuarto tér-

mino, multiplico el 985,3031 por 900, lo que me da 886772,79; divido este producto por el primer término de la proporcion, y saco 28,9.

Quito este resultado del número 100, y obtengo 71,1.

Supongo ahora que el número buscado es 71,1; lo cubico y saco 359425,431; del cual estraigo la raiz cuadrada, y obtengo 599,521, que siendo mayor que el 14,6969, quito este del 599,521 y me resulta por error ó equivocacion + 584,8241; y para obtener la correccion que debo hacer al tercer número supuesto 71,1, formaré la siguiente proporcion:

400,479 (diferencia de los errores 985,3031 y 584,8241) : 28,9 (diferencia de los dos números supuestos 100 y 71,1) : : 584,8241 (error que tiene menor valor numérico y que proviene del mismo supuesto 71,1) : á la correccion que se debe hacer al número 71,1 de que proviene dicho error.

Multiplicando pues el segundo término 28,9 por el tercero 584,8241 saco 16901,41649, y dividiendo esto por el primer término 400,479 obtengo 42,2; y como el resultado que dió el tercer número supuesto 71,1 fue mayor que el correspondiente, debo quitar esta correccion del número 71,1 y saco 28,9.

Tomo este resultado por cuarto número supuesto; y formando su cubo, obtengo 24137,569, cuya raiz cuadrada es 155,36, que escede al número 14,6969 en +140,6631.

Para encontrar la correccion que debo hacer al 28,9 que es el que dista ménos del verdadero, por dar un error menor, formaré la siguiente proporcion 444,1610 (diferencia entre los errores 584,8241 y 140,6631): 42,2 (diferencia de los dos números supuestos 71,1 y 28,9) :: 140,6631 (error que tiene menor valor numérico): á la correccion que se debe hacer al número 28,9 de que proviene; y hallando el cuarto término, se obtiene 13,4; y como el resultado que dió el cuarto número supuesto 28,9 fué mayor que el correspondiente, debo quitar esta correccion del número supuesto 28,9 y saco 15,5.

Tomo este resultado por quinto número supuesto; y formando su cubo, saco 3723,875, cuya raiz cuadrada es 61,023 que excede al número 14,6969 en +46,3261.

Para obtener la correccion que debo hacer al quinto número supuesto 15,5, formo la siguiente proporcion

94,337 (diferencia entre los errores 140,6631 y 46,3261): 13,4 (diferencia de los dos números supuestos 28,9 y 15,5) : : 46,3261 (error que tiene menor valor numérico): á la correccion que

se debe hacer al número 15,5 de que proviene; y hallando el cuarto término se tiene 6,58; y como el resultado que dió el supuesto 15,5 fué mayor que el correspondiente, debo quitar esta correccion del número 15,5 y saco 8,92.

Tomo este resultado por sesto número supuesto, y formando su cubo, obtengo 709,732288 cuya raiz cuadrada es 26,641 que escede al número 14,6969 en + 11,9441.

Para encontrar la correccion que debo hacer al sesto número supuesto 8,92, formo la siguiente proporcion 34,382 (diferencia entre los errores 46,3261 y 11,9441) : 6,58 (diferencia de los dos números supuestos 15,5 y 8,92) : : 11,9441 (error que tiene menor valor numérico) : á la correccion que se debe hacer al número 8,92 de que proviene; cuyo cuarto término es 2,28; y como el resultado que dió el sesto número supuesto 15,5 fué mayor que el correspondiente, debo quitar esta correccion del número 8,92 y saco 6,64.

Tomo este número por séptimo supuesto, formo su cubo y estraigo su raiz cuadrada; con lo que obtengo 17,11, que escede al número 14,6969 en + 2,4131.

Para encontrar la correccion que debo hacer al séptimo número supuesto 6,64, formo la siguiente proporcion

9,531 (diferencia entre los errores 11,9441 y 2,4131) : 2,28 (diferencia de los dos números supuestos 8,92 y 6,64) : : 2,4131 (error que tiene menor valor numérico) : á la correccion que se debe hacer al número 6,64; cuyo cuarto término es 0,57; y como el resultado que dió el séptimo número supuesto fué mayor que el correspondiente, debo quitar esta correccion del número 6,64, lo que da 6,07.

Tomo este número por octavo supuesto; formo su cubo; estraigo su raiz cuadrada, y hallo 14,955, que escede al número 14,6969 en + 0,2581.

Para encontrar la correccion que debo hacer al octavo número supuesto 6,07, formo la siguiente proporcion

2,155 (diferencia entre los errores 2,4131 y 0,2581) : 0,57 (diferencia entre los dos números supuestos 6,64 y 6,07) : : 0,2581 (error que tiene menor valor numérico) : á la correccion que se debe hacer al número 6,07; cuyo cuarto término es 0,068; y como el resultado que dió el octavo número supuesto fué mayor que el correspondiente, debo quitar esta correccion del número 6,07; lo que da 6,002.

Tomo este valor por noveno número supuesto, formo su cubo, estraigo su raiz cuadrada, y hallo 14,704 que escede al número 14,6969 en + 0,0071.

Para encontrar la correccion que debo hacer al noveno número supuesto 6,002, formo la siguiente proporcion

0,251 (diferencia entre los errores 0,2581 y 0,0071) : 0,068 (diferencia entre los dos números supuestos 6,07 y 6,002) :: 0,0071 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,0019, y es la correccion que se debe hacer al número 6,002, de que proviene dicho error; y como este es por esceso deberémos restarle del 6,002, y nos da 6,0001.

Tomo este valor por décimo número supuesto, formo su cubo, estraigo su raiz cuadrada, y hallo 14,6973, que escede al número 14,6969 en + 0,0004.

Para encontrar la correccion que debo hacer al décimo supuesto 6,0001 formo la siguiente proporcion

0,0067 (diferencia entre los dos errores 0,0071 y 0,0004) : 0,0019 (diferencia entre los dos supuestos 6,002 y 6,0001 de que provienen dichos errores) :: 0,0004 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término que hallo ser 0,0001, y es la correccion que se debe hacer al número 6,0001 de que proviene dicho error; y como este es por esceso, deberémos restarle del número 6,0001 : y ejecutando la sustraccion, nos da justamente 6, número que satisface á la cuestion, y que era el que buscábamos, y sabíamos de antemano.

132 Este método acaso parecerá largo; pero no obstante, como es seguro, se deberá emplear por todos aquellos que no se hallen en disposicion de saber estraer la raiz cúbica. Mas si aquí aparece tan largo, es porque hemos principiado por un supuesto disparatado para hacer ver la exactitud del método; pero en lo general se obtiene con mucha mas sencillez, principiando por un supuesto que no diste mucho del verdadero, lo que siempre se conoce con bastante aproximacion, y es lo que ahora vamos á ejecutar.

La ecuacion dice, que la raiz cuadrada del cubo del número buscado, ha de ser 14,6969.

Si la raiz cuadrada ha de tener dos guarismos en enteros, como al estraer la raiz cuadrada (228 Ar. de N.) se separa el número supuesto en periodos de á dos cifras y cada periodo en el cuadrado, da un guarismo en la raiz, se infiere que el valor de H^3 ó lo que es lo mismo el cubo del número que busco ha de tener mas de dos guarismos y ménos de cinco; luego tendrá ó tres guarismos ó cuatro. Ahora, si observo los cubos de los números dígitos (240 Ar. de N.), veré que el cubo de 4 es 64 que, como solo tiene dos guarismos, no puede ser el valor de H; el primer cubo que tiene ya tres guarismos es

el 125, que es el cubo de 5. En el mismo parage citado advierto que ya el cubo de 37 da cinco guarismos; por lo que el valor de *H* ha de ser menor que 37, luego tenemos ya que el número *H* ha de estar comprendido entre los números que hay desde el 5 hasta el 37; y aunque por otras observaciones podríamos estrechar estos límites, es mas conveniente aplicar desde luego el método.

133 Supongamos pues que el número buscado *H* sea el 5; y tendrémos que su cubo será 125, cuya raiz cuadrada es 11,1803; que le falta 3,5166 para ser el primer miembro 14,6969; que señalo con el signo — y digo: que de suponer 5 en vez de *H*, resulta un error de — 3,5166.

Como el primer supuesto 5 es menor que el verdadero, resulta que el segundo número supuesto debe ser mayor que 5. Supongo pues que sea 8; y tendré que su cubo es 512; cuya raiz cuadrada es 22,6274 que escede al 14,6969 en + 7,9305.

Aquí observo que los errores tienen diferente signo, y que el supuesto que da menor error numérico es el 5; luego infiero que el número que busco se acerca mas á 5 que á 8, y así buscaré la correccion que se debe hacer al 5; para lo cual plantearé la cuestion del modo siguiente

11,4471 (suma de los errores 3,5166 y 7,9305, porque en este caso tienen diferente signo): 3 (diferencia entre los números supuestos 5 y 8) :: 3,5166 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término; que hallo ser 0,9216, que es lo que debo añadir al 5 y tendré 5,9216.

Tomo este valor 5,9216 por tercer número supuesto; el cual cubicado da 207,64294619, cuya raiz cuadrada es 14,4099 que le falta 0,287 para el 14,6969; por lo que digo que el error ó equivocacion es — 0,287.

Para conocer la correccion que debo hacer al número 5,9216, formaré la proporcion 8,2175 (suma de los errores 7,9305 y 0,287 por tener diferente signo) : 2,0784 (diferencia entre los dos números supuestos 8, y 5,9216) :: 0,287 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,0721; el cual añadido al cuarto número supuesto 5,9216, hallo 5,9937.

Aquí ya veo que á este número solo le faltan 63 diez milésimas, para el 6 que busco; por consiguiente, podría ya contentarme con este resultado; pero si quiero aun mayor exactitud, tomo el 5,9937 por quinto número supuesto, formo su cubo y hallo 215,32031417, cuya raiz cuadrada es 14,6738, que da un error de — 0,0231.

Para conocer la correccion que debo hacer al número 5,9937, formo la proporcion 0,2639 (diferencia de los errores 0,287 y 0,0231) : 0,0721 (diferencia entre los dos números supuestos 5,9937 y 5,9216) :: 0,0231 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,0063, el cual le añado al número 5,9937 y hallo exactamente 6.

Donde se ve con cuan poco trabajo hemos obtenido el verdadero resultado.

134 Hasta ahora hemos procedido en la hipótesis de que no había contraccion, por suponer que la abertura de descarga tenía la forma embudada (fig. 32); mas como en la mayor parte de las aplicaciones, particularmente en el cálculo del gasto de las aberturas de descarga, este embudamiento no tiene lugar, y la vena fluida se contrae, ya sea solo sobre los lados, ya sobre el fondo solamente, ó ya sobre el fondo y los lados á un mismo tiempo, es necesario aplicar la debida correccion á la fórmula (57). Solo la esperiencia puede suministrar sobre este asunto las luces necesarias. *Mr. Dubuat* ha hecho algunos esperimentos sobre un orificio cuyo ancho era cerca de 50 centímetros (1,79 pies españoles), y donde la altura de la superficie del fluido sobre el fondo del orificio, ha variado, desde 5 hasta cerca de 25 centímetros (esto es, desde 2 pulgadas españolas y algo mas á 10). En virtud de ellos, y con presencia de algunos esperimentos de *Poleni*, establece *Mr. Navier* que es necesario tomar aproximadamente los 0,74 de la cantidad que da la fórmula (59) cuando hay contraccion sobre los lados y sobre el fondo; y los 0,76 cuando hay contraccion sobre el fondo solamente.

135 Luego si el segundo miembro de la (ec. 59) lo multiplicamos por 0,74, tendrémos $Q=0,41799122\times l\times t\times\sqrt{2g\times H^3}$ (64).

Fórmula que nos servirá para encontrar el gasto hecho por un orificio rectangular abierto por arriba, y que ni en el fondo ni en los lados haya embudamiento, y en que por consiguiente haya contraccion en el fondo y en las paredes, que es el caso que presenta la (fig. 33); y traducida en regla, deberémos practicar la (122) sin mas diferencia que, en vez de multiplicar al fin por el número 0,564853, se deberá multiplicar aquí por el 0,41799122.

Ej. Supongamos que el ancho de la abertura sea 8 pies, la carga ó altura del agua sobre el fondo de dicha abertura 3 pies; y que se desée hallar el gasto en 7 horas.

Practicando la regla, tendré por último 3668462 pies cúbicos.

Si en la (ec. 64) despejamos l y t, hallamos los mismos valores (ecs. 60 y 61) que nos dió la (ec. 59) sin mas diferencia que en vez del número constante 0,564853 se deberá poner el 0,41799122, de modo que tendrémos

$$l=\frac{Q}{0{,}41799122\times t\times\sqrt{2g\times H^3}}\ (65),\quad t=\frac{Q}{0{,}41799122\times l\times\sqrt{2g\times H^3}}\ (66).$$

Y para encontrar H, cuando ocurra, deberémos emplear el procedimiento espuesto (125 y siguientes).

136 Cuando la abertura tiene la forma de la (fig. 34) en que los lados conservan la forma embudada, y no el fondo, entónces hay contraccion solo en el fondo; y para encontrar el gasto efectivo, se necesita multiplicar el segundo miembro de la (ec. 59) por 0,76, lo que da $Q=0{,}42928828l\times t\times\sqrt{2g\times H^3}$ (67); la cual nos servirá para encontrar el espresado gasto cuando hay contraccion en el fondo; y traduciéndola en regla es la misma que la (126), sin mas diferencia que en vez de multiplicar al fin por 0,564853, se diga que *se debe multiplicar* por 0,42928828.

Ej. Si nos propusiéramos hallar el gasto hecho por una abertura de 10 pulgadas de ancho con una carga de 15 pulgadas en 20 minutos, ante todas cosas debemos advertir, que todas las dimensiones se deben reducir á pies, así como el tiempo se debe reducir siempre á segundos; y practicando la regla, encuentro 5024 pies cúbicos.

137 Si en la (ec. 67) despejamos la t y la l, hallarémos

$$t=\frac{Q}{0{,}42928828\times l\times\sqrt{2g\times H^3}}\ (68),\quad l=\frac{Q}{0{,}42928828\times t\times\sqrt{2g\times H^3}}\ (69).$$

Respecto de H deberémos emplear el procedimiento esplicado (130 y siguientes). No traducimos en regla las (ecs. 65 y 66) ni las (ecs. 68 y 69); ni con respecto á ellas harémos aplicaciones numéricas, porque todo se hace idénticamente como con las (ecs. 60 y 61), sin mas diferencia que la del número constante.

138 Pasemos ya á la determinacion del gasto por orificios circulares, de magnitud sensible, hechos en las paredes verticales de los vasos ó de los depósitos. En este caso, teniendo la forma embu-

dada el espresado orificio circular, y permaneciendo el vaso ó depósito constantemente lleno, la fórmula que da el gasto es *

$$Q=3,141592654.t.r^2.\sqrt{2g}.\sqrt{H}.\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{H}{r}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{H}{r}\right)^2\right)^2}\right) \quad (70)$$

* Para deducir esta fórmula, supongamos que $FKRQ$ (fig. 35) sea el lado de un depósito lleno de un fluido, y $LhNH$ un orificio circular, en que $HO=H$ y $hO=h$ sean las alturas constantes del fluido sobre el punto mas bajo H, y sobre el punto mas alto h del orificio.

Tirando al diámetro vertical Hh, las perpendiculares MP y mp sumamente próximas y el radio MC, que espresarémos por r, considerarémos el arco hM como abscisa, y lo representarémos por u. Ahora, si espresamos por n la relacion que tiene la altura OC del agua sobre el centro del orificio con el radio $Ch=r$ del mismo orificio, tendrémos $n=\frac{OC}{Ch}$; lo que dará $OC=r\times n$. Y (§ 465 IC). $PM=r$, sen. u; $CP=r.$ cos. u; $OP=OC-CP=r\times n-r.$ cos. u; $hP=r-r.$ cos. u; lo que dará $Pp=d.(hP)=d.(r-r$ cos. $u)=r.$ sen. $u.$ du; el trapecio elemental $PMmp$, en el límite será igual con $MP\times Pp=r$ sen. $u.$ r sen. $u.$ $du=r^2($sen. $u)^2$ du.

La velocidad con que saldrá cada partícula de fluido por el filete $PMmp$, será la debida á la altura $OP=n.r-r.$ cos. u; y estará espresada por $\sqrt{2g(n.r-r.\text{ cos. } u)}$; luego por el espresado filete, en la unidad de tiempo, saldrá una cantidad de agua representada por $r^2\times($sen. $u)^2$ du $\sqrt{2g(n\times r-r\times\text{cos. } u)}$; y en el tiempo t, lo será por $t.r^2($sen. $u)^2\times du\times\sqrt{2g(nr-r.\text{ cos. } u)}$; y como esta es la porcion de agua que saldrá en el tiempo t por el elemento $PMmp$, si espresamos por Q el gasto, será la diferencial de Q, y tendrémos

$$dQ=t.r^2(\text{sen.}u)^2du\sqrt{2g(nr-r\text{cos.}u)}=tr^2\sqrt{2gr}.du(\text{sen.}u)^2\sqrt{n-\text{cos.}u}.$$

Para integrar esta espresion, observarémos que

$$du\ (\text{sen. } u)^2\ \sqrt{(n-\text{cos. } u)}=du\ (1-\text{cos. } u^2)\ \sqrt{n-\text{cos. } u}=$$

$$du(1-\text{cos. } u^2)\left(n^{\frac{1}{2}}-\frac{n^{-\frac{1}{2}}\text{ cos. } u}{2}-\frac{n^{-\frac{3}{2}}(\text{cos. } u)^2}{8}-\frac{n^{-\frac{5}{2}}(\text{cos. } u)^3}{16}\ldots\right.$$

$$\left.\frac{5n^{-\frac{7}{2}}(\text{cos. } u)^4}{128}-\frac{7n^{-\frac{9}{2}}(\text{cos. } u)^5}{256}-\frac{21n^{-\frac{11}{2}}(\text{cos. } u)^6}{1024}-\&\text{c.}\right)$$

Ahora, como la integral que se busca, debe desvanecerse cuando $u=0$. y recibir su valor completo cuando $u=360$ grados, el cálculo

En la cual t representa el número de segundos que dura la evacuacion, g la fuerza de la gravedad, H la carga ó altura de la su-

se puede abreviar considerablemente, porque se pueden suprimir en la ecuacion diferencial todos los términos que contengan cos. u, cos. $2u$, cos. $3u$, cos. $4u$, &c; porque estos términos, al pasar á la integral, contendrán sen. u, sen. $2u$, sen. $3u$, sen. $4u$. &c que se desvanecen cuando $u=0$ y cuando $u=360°$.

Por consiguiente, pues que se tiene en general

$$(\cos. u)^2=\frac{1+\cos. 2u}{2}; (\cos. u)^3=\frac{\cos. u+\cos. u\times\cos. 2u}{2}=\frac{3\cos. u}{4}+\frac{\cos. 3u}{4}; (\cos. u)^4=\frac{1}{4}+\frac{\cos. 2u}{2}+\frac{(\cos. 2u)^2}{4}=\frac{3}{8}+\frac{\cos. 2u}{2}+\frac{\cos. 4u}{8}\&c.$$

resultará que deberá verificarse

$$(\cos. u)^2=\tfrac{1}{2}, (\cos. u)^3=0, (\cos. u)^4=\tfrac{3}{8}, (\cos. u)^5=0, (\cos. u)^6=\tfrac{5}{16}: \&c.;$$

Por lo que la ecuacion, que se deberá integrar, será

$$dQ=tr^2\sqrt{2grn}.\,du\left(1-\frac{1}{32n^2}-\frac{5}{1024n^4}-\&c.\right);$$

que, verificando la integracion, se tiene

$$Q=tr^2\sqrt{2grn}.\,u\left(1-\frac{1}{32n^2}-\frac{5}{1024n^4}-\&c.\right);$$

no debemos añadir constante, porque ya hemos procedido en el supuesto de que la integral completa se reducía á cero cuando $u=0$; y suponiendo ahora $u=360°$ ó toda la circunferencia, que en números está representada por $\pi=3,14159$ &c., se tendrá

$$Q=3,141592654\times tr^2\sqrt{2grn}.\left(1-\frac{1}{32n^2}-\frac{5}{1024n^4}-\&c.\right);$$

Ahora, espresando por H la altura del nivel del agua sobre el centro del círculo, resultará $H=OC=r\times n$, y $n=\frac{H}{r}$; luego si hacemos estas sustituciones, será

$$Q=3,141592654tr^2\sqrt{2gH}\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{H}{r}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{H}{r}\right)^2\right)^2}-\&c.\right);$$

que es la ecuacion del texto, sin mas diferencia que haber puesto $\sqrt{2g}\times\sqrt{H}$ en vez de $\sqrt{2gH}$ para mayor claridad en las aplicaciones.

La serie que hay dentro del paréntesis es siempre convergente; porque r es en todos los casos menor que H; y será tanto mas convergente, cuanto menor sea r en comparacion de H, ó H sea mayor en comparacion de r.

perficie del fluido sobre el centro del orificio; r el radio de este y Q el gasto; y traduciéndola en regla, nos dice: que *para encontrar el gasto por un orificio circular de magnitud sensible, y forma embudada, hecho en un depósito que permanece constantemente lleno, se practicará lo siguiente. Se multiplicará el número 3,141592654 por el número de segundos que dura la evacuacion y por el cuadrado del radio, lo que resulte se multiplicará por la raiz cuadrada del duplo de la fuerza de la gravedad; y lo que se obtenga, se volverá á multiplicar por la raiz cuadrada de la altura del agua sobre el centro del orificio; y lo que resulte se multiplicará por el número que se obtenga de practicar lo siguiente: divídase la unidad por 32 veces el cuadrado del cociente de partir la carga sobre el centro del orificio por el radio de este; divídase tambien el número 5 por el producto de 1024 por el cuadrado del cuadrado del cociente de dividir la misma carga por el radio del orificio; tómense en estos cocientes hasta unos seis guarismos decimales, y súmense los espresados dos cocientes; la suma réstese de la unidad; y este será el número por el que se deberá multiplicar el número de ántes*; y el producto final será el gasto pedido.

Ej. Supongamos que se desée tener el gasto que produciría en Búrgos un orificio, de forma embudada y 4 pulgadas de diámetro, hecho en un depósito que permanece constantemente lleno, y en que la altura del agua sobre el centro del orificio sea de 6 pies, y que haya durado el desagüe 100 segundos.

Multiplico el número constante 3,141592654 por 100, número de segundos que ha durado la evacuacion y hallo 314,1592654; multiplico esto por el cuadrado del radio que es $\frac{1}{36}$ de pie, lo que se consigue dividiendo 314,1592654 por 36 y me resulta 8,7266463 habiendo aproximado la última cifra por exceso; multiplico este número 8,7266463 por la raiz cuadrada del duplo de la fuerza de la gravedad que en Búrgos, dicha raiz es 8,378, lo que me da por producto 72,911833; multiplico este resultado por la raiz cuadrada de 6, que es 2,449 y hallo 179,10568661 2. Ahora divido la unidad por 32 veces el cuadrado del cociente 36 que resulta de dividir 6 que es la carga, por $\frac{1}{6}$ que es el radio y encuentro $\frac{1}{41472}$, que espresado en fraccion decimal equivale á 0,000024; divido tambien el número 5 por el producto de 1024 por el cuadrado del cuadrado de 36 que es 1719926784, y obtengo 0,0000000029; y como solo nos proponemos tomar 6 guarismos decimales, vemos

que el tercer término de lo que se halla dentro del paréntesis no influye en el resultado; por lo que no necesitamos tomar en consideracion este cociente, lo que es una prueba de la exactitud y aproximacion ó convergencia de la fórmula; y por consiguiente la suma de los cocientes será solo el 0,000024. Resto este número de la unidad y hallo 0,999976; multiplico esta resta por el número 179,1056886612 encontrado ántes, y resulta 179,10139 pies cúbicos, que es el resultado final.

139 Si en la (ec. 70) despejamos la t, nos resultará

$$t=\frac{Q}{3{,}141592654r^2\times\sqrt{2gH}\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{H}{r}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{H}{r}\right)^2\right)^2}\right)} \quad (71)$$

que, traducida en regla nos dice: que *para encontrar el tiempo que debe durar el desagüe para producir un gasto dado, cuando sea conocido el radio del orificio y la carga, se multiplicará el número* 3,141592654 *por el cuadrado del radio y por la raiz cuadrada del producto del doble de la fuerza de la gravedad por la carga; y el número que resulte, se multiplicará por el que se obtenga de practicar lo siguiente: se dividirá la unidad por* 32 *veces el cuadrado del cociente que se obtenga de dividir la carga por el radio; divídase tambien el número* 5 *por* 1024 *veces el cuadrado del cuadrado del cociente que resulte de dividir la carga por el radio; súmense estos dos cocientes, réstese la suma de ellos, de la unidad; el número que se obtenga, multiplíquese por el hallado ántes; y por último, divídase por el producto que se obtenga, el gasto dado*; con lo cual se tendrá el tiempo espresado en segundos.

Ej. Supongamos que en Búrgos, con un orificio de 6 pulgadas de diámetro y una carga de 8 pies, haya resultado un gasto de 1500 pies cúbicos de agua y que se necesite averiguar en cuanto tiempo se ha producido.

Multiplicando el número constante por el cuadrado del radio, hallo 0,19634954I; multiplico esto por 23,699 que espresa la raiz cuadrada del producto del duplo de la fuerza de la gravedad por la carga 8, y obtengo 4,653287772159. Divido la unidad por 32768 y hallo 0,00003; divido 5 por 1073741824; y como este cociente no da valor ninguno en las 6 primeras cifras decimales,

no lo tendré en consideracion; por lo que lo desprecio, y resto el anterior de la unidad, lo que da 0,99997; por cuyo número multiplico el 4,653287772159 y hallo 4,65315; divido por este número el gasto dado, que es 1500 pies cúbicos, y hallo 322 segundos que equivalen á 5 minutos y 22 segundos.

140 Pero si quisiéramos despejar la r, nos resultaría una ecuacion de sesto grado, que el Álgebra está muy distante de poder resolver; y si tratáramos de hallar la carga H, nos resultaría una ecuacion de noveno grado, que con mayor razon se resistiría á resolverse por los métodos conocidos hasta el presente para la resolucion de las ecuaciones.

Mas, á pesar de todo, cumpliendo con lo que hemos ofrecido en el prólogo, enseñarémos á determinar tanto el radio r, como la carga H, sin mas conocimientos que los de la Aritmética de Niños.

Para esto, harémos uso del método espuesto en la nota del (§ 310 *I T. E.*) en los mismos términos que lo hemos practicado (125 y siguientes) para determinar la carga en el desagüe por los orificios rectangulares abiertos por arriba; pero debemos advertir que allí, el Álgebra tenía medios para encontrar el valor de H, pues se llega á obtener una ecuacion pura del tercer grado, para cuya resolucion basta saber estraer la raiz cúbica como espresa la (ec. 62). Mas para este caso, no tienen las Matemáticas ningun recurso mas espedito, que el que vamos á esponer. Por lo que, no podemos ménos de repetir, que es de la mayor importancia el familiarizarnos con su modo de aplicacion.

141 Resolverémos un ejemplo que, al mismo tiempo que nos sirva de ejercicio, nos sea útil en lo sucesivo y que por otra parte sea sumamente importante saberlo ejecutar con exactitud en el ejercicio de la fontanería en Madrid y en otras ciudades populosas, que tengan un sistema análogo de distribucion de aguas, como el que hay en la Capital.

Supongamos que se necesite hallar en esta Corte la magnitud de un orificio circular en que saliendo el agua por un tubo adicional, cuya longitud sea igual á dos veces y media su diámetro, y con una carga de *un dedo* español sobre el punto mas alto de su circunferencia, suministre 15,77642 unidades de las que en Madrid se caracterizan con el nombre de *real de agua*.

Para esto, observarémos que por lo espuesto en mi Memoria sobre la nivelacion del Jarama (pág. 496 del Mercurio de octubre de 1824), resulta que lo que en Madrid se llama *real de agua*, suministra en una hora 11,167556 pies cúbicos de dicho líquido; luego

los 15,77642 reales deberán suministrar 176,184054 pies cúbicos de agua en una hora. Por lo que solo nos falta determinar cual debe ser el diámetro correspondiente á este círculo y á qué distancia de la superficie del agua en el depósito se debe colocar su centro.

En punto á la altura, nos sujetarémos á lo que por práctica, ley ó costumbre se ha observado en la villa de Madrid; por lo cual, y en atencion á que segun *Polanco* (pág. 495 del mismo Mercurio) la altura del agua sobre el orificio debe ser 1 dedo, que es $\frac{1}{16}$ ó 0,0625 de pie; resulta que ya la cuestion está reducida á *determinar cual debe ser el diámetro de un orificio circular en que saliendo el agua por un tubo cuya longitud sea dos veces y media su diámetro y con una carga de 0,0625 de pie sobre la parte superior de su circunferencia, suministre 176,184054 pies cúbicos por hora.*

Aquí nos hallamos con otro inconveniente; y es que en la fórmula (70), H representa la altura del agua en el depósito sobre el centro del orificio, la cual debe componerse de 0,0625 de pie, y ademas del radio del mismo orificio; pero como no conocemos dicho radio esta es otra nueva dificultad. Sin embargo, no debemos arredrarnos, pues el mismo método nos proporcionará el vencerla.

Con este objeto, sustituirémos en la (ec. 70) en vez de Q el gasto 176,184054 pies cúbicos, por t el número 3600 segundos, que contiene una hora, por g el valor 35,0961 que es la fuerza de la gravedad en Madrid, por H su valor $0{,}0625+r$, y dejarémos indeterminada la r que espresa el radio que buscamos.

Ademas, para tener en consideracion el fenómeno de la *contraccion de la vena fluida*, deberémos observar que, á una longitud de tubo aditicio igual á dos veces y media el diámetro del mismo tubo, corresponde por la tabla segunda de contraccion inserta en el (§ 57) de este libro, el coeficiente de contraccion 0,8221; por el que se deberá multiplicar el segundo miembro de la espresada (ec. 70) para que se tenga el resultado con la debida exactitud.

En virtud de todo lo cual, la mencionada ecuacion, haciendo las sustituciones dichas, se convertirá en

$$176{,}184054=0{,}8221\times3{,}14159265\,4\times3600\times r^2\times\sqrt{70{,}1922\times}$$
$$\times\sqrt{r+0{,}0625}\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{0{,}0625+r}{r}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{0{,}0625+r}{r}\right)^2\right)^2}\right)\quad(72)$$

que, efectuando las multiplicaciones, resultará

$$176,184054=77897,3281\times r^2\times\sqrt{r+0,0625}\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{0,0625+r}{r}\right)^2}\cdots\right.$$

$$\left.-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{0,0625+r}{r}\right)^2\right)^2}\right)$$ (73); y dividiendo ambos miembros por

77897,3281, se tiene $0,0022618=r^2\times\sqrt{r+0,0625}\left(1-\right.$

$$\left.-\frac{1}{32\left(\frac{0,0625+r}{r}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{0,0625+r}{r}\right)^2\right)^2}\right)$$ (74).

Ahora, lo que nos proponemos, es determinar r en la presente ecuacion; para esto, principiarémos por suponer para r un valor cualquiera elegido á arbitrio, y por lo mismo supondrémos que este primer valor de r sea igual con 0,0625, porque de este modo nos resulta con mas sencillez esta primera aproximacion, á causa de que el quebrado que hay dentro del paréntesis de los denominadores, resulta ser un número entero 2; y ejecutando la espresada sustitucion en el segundo miembro de la ecuacion anterior, se nos convierte en

$$0,00390625\times0,3536\left(1-\frac{1}{32(2)^2}-\frac{5}{1024((2)^2)^2}\right);$$ ó bien en

$$0,0013808593 75\left(1-\frac{1}{128}-\frac{5}{16384}\right);$$ ó en

$$0,001380859375\times\frac{16251}{16384};$$ ó reduciendo este quebrado á fraccion decimal $0,001380859375\times0,9919$; y efectuando la multiplicacion hallo 0,0013696; resultado menor que 0,0022618, primer miembro de la espresada (ec. 74); por lo que señalaré el error con el signo —, y tendré que dicho error será —0,0008922.

Como el resultado que he obtenido es menor que el verdadero, debo inferir que el valor 0,0625 que he supuesto para r es menor de lo que debe ser, por lo cual tomaré por segundo número supuesto un número que sea mayor que 0,0625, y será el suponer que $r=0,07$; y hechas las sustituciones y verificados todos los cálculos numéricos, hallo para el segundo miembro de la (ec. 74) 0,0017674; y como es menor que 0,0022618 en 0,0004944, diré que el error es —0,0004944.

Ahora, como este error es menor que el anterior, y tiene el mismo signo que él, para conocer la correccion que debo hacer al número supuesto 0,07 que es el que da menor error numérico, en virtud de lo espuesto (126), formaré la proporcion 0,0003978 (diferencia de los errores 0,0008922 y 0,0004944 por tener ámbos el mismo signo) : 0,0075 (diferencia de los dos números supuestos 0,07 y 0,0625) :: 0,0004944 (menor error numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,0093, y le añado al 0,07 que es el número supuesto de que proviene dicho menor error; lo que da 0,0793.

Tomo este valor por tercer número supuesto y sustituyéndole en el segundo miembro de la (ec. 74), tendré 0,0023439 que escede á 0,0022618 que forma su primer miembro en 0,0000821; y así señalaré el error con el signo +, y será + 0,0000821.

Para saber la correccion que debo hacer al número 0,0793, formaré la siguiente proporcion

0,0005765 (suma de los errores 0,0004944 y 0,0000821 por tener aquí distinto signo) : 0,0093 (diferencia de los números supuestos 0,07 y 0,0793) :: 0,0000821 (menor error) : á la correccion que debo hacer al número 0,0793, de que proviene, y resulta 0,00132; que resto del 0,0793 y hallo 0,07798.

Tomo este valor por cuarto número supuesto; y hecha la sustitucion en la (ec. 74), hallo 0,0022538, y como es menor que 0,0022618, en 0,0000080, diré que el error es − 0,0000080.

Ahora, para conocer la correccion que debo hacer al número 0,07798, formaré la proporcion

0,0000901 (suma de los errores 0,0000821 y 0,0000080 por tener diferente signo) : 0,00132 (diferencia entre los dos números supuestos 0,0793 y 0,07798) :: 0,0000080 (error menor) : á la correccion que se debe hacer al número 0,07798 de que proviene, y resulta ser 0,0001172, que añado al número 0,07798, y tendré 0,0780972.

Tomo este valor por quinto número supuesto; y hecha la sustitucion en la (ec. 74), hallo 0,0022638, que escede á 0,0022618 en 0,0000020; por lo que señalaré el error con el signo + y será + 0,0000020.

Para saber la correccion que debo hacer al número 0,0780972, formaré la proporcion siguiente

0,00001 (suma de los errores 0,000008 y 0,000002, por tener aquí diferente signo) : 0,0001172 (diferencia de los números supuestos 0,0780972 y 0,07798) :: 0,000002 (menor error numé-

rico) : á la correccion que debo hacer al número 0,0780972 de que proviene, y resulta ser 0,0000234, que restado del 0,0780972, hallo 0,0780737б.

Si tomáramos este valor por sesto número supuesto, no encontraríamos ya error en el sesto guarismo decimal; que es toda la exactitud que nos podemos proponer; siendo inútil intentar hallar la correccion; pues ya estamos seguros de que la diferencia existe desde el quinto guarismo decimal en adelante, que espresando cien milésimas de pie, lo mas que puede llegar á ascender el error es á milésimas partes de línea; cantidad inapreciable aun con los instrumentos mas exactos. Luego hemos cumplido nuestra oferta de hallar el resultado con toda la exactitud que se apetecía y sin suponer otros conocimientos que los de la Aritmética de Niños.

Puesto que conocemos ya el radio, que es de 0,07807 de pie, suprimiendo los otros tres guarismos por no llegar el de especie superior á 5, el diámetro será 0,15614 de pie, que equivale á 1 pulgada y 10 líneas.

142 Hemos dicho (140) que si tratáramos de hallar la carga H por la fórmula (70) nos resultaría una ecuacion del noveno grado, que presentaría dificultades insuperables á cuantos métodos hay conocidos para la resolucion de las ecuaciones, y hemos prometido hacer ver que por nuestro método, sin mas auxilios que los conocimientos de mi Aritmética de Niños, se puede conseguir un objeto tan interesante.

Con el fin de cumplir nuestra promesa, supongamos que en la cuestion anterior sea todo conocido, escepto la carga H, es decir, supongamos que en la (ec. 70) se tenga $Q=176,184054$ pies cúbicos; $t=3600$ segundos, $g=35,0961$ y $r=0,7807$. Haciendo estas sustituciones en la espresada (ecuacion 70) y multiplicando el segundo miembro por el mismo coeficiente de contraccion 0,8221, se nos convertirá en $176,184054=0,8221\times3,14159265 4\times3600\times(0,07807)^2\times$

$$\sqrt{70,1922\times\sqrt{H}}\times\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{H}{0,07807}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{H}{0,07807}\right)^2\right)^2}\right)(75),$$

En la cual, ejecutando todas las operaciones numéricas indicadas, se tiene $176,184054=474,7783618\times\sqrt{H}\times$

$$\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{H}{0,07807}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{H}{0,07807}\right)^2\right)^2}\right)$$ (76). Dividiendo ámbos miembros por 474,7783618, se nos convertirá en

$$0,371087=\sqrt{H}\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{H}{0,07807}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{H}{0,07807}\right)^2\right)^2}\right)(77);$$

en la cual nos proponemos determinar la carga H por nuestro método.

Aquí sabemos que la espresada carga se ha de componer de 0,0625 de pie, que la superficie del agua en el depósito se halla mas elevada sobre la parte superior de la circunferencia del orificio; y ademas del radio 0,07807 del mismo orificio; luego el valor de H será 0,14057 de pie ó 0,1406, suprimiendo el último 7 y añadiendo en su lugar una unidad al 5 como se tiene de costumbre (180 Ar. de N.), atendiendo á que, en este caso, no llega el error á una centésima de linea, que ni con los mejores instrumentos se puede apreciar. Mas nosotros debemos suponer como lo exige la cuestion, que ignoramos dicho valor y nos proponemos encontrarle, como si no tuviéramos absolutamente ningun indicio.

Con este objeto, podrémos suponer por primer número supuesto para el valor de H, un número cualquiera; y por disparatado que lo supongamos, el método nos conducirá con seguridad á su determinacion como se ha verificado anteriormente (125). Mas sin embargo, en cuestiones de esta naturaleza los supuestos arbitrarios deben ser siempre aquellos que con mas sencillez pueden conducir á dar alguna luz acerca del valor que se busca; por lo que supondrémos 1 para el primer valor de H; pues esto nos evita el estraer una raiz cuadrada y hacer una multiplicacion.

Suponiendo pues 1 en vez de H, en la (ec. 77), tendrémos

$$0,371087=1-\frac{1}{32\left(\frac{1}{0,07807}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{1}{0,07807}\right)^2\right)^2}$$; y efectuando las operaciones en el segundo miembro, se convertirá en

$$1-\frac{1}{5250,26}-\frac{5}{27565181,68}$$; ó sumando los dos quebrados

y restando su suma de la unidad, tendrémos $\frac{27559926,42}{27565181,68}$, que reduciendo á fraccion decimal resulta 0,996544; cuyo valor escede al 0,371087 que forma el primer miembro de la (ec. 77) en 0,625457; por lo que señalaré este error con el signo +, y será +0,625457.

Por segundo número supuesto podríamos elegir cualquiera otro que fuese menor que 1, puesto que este error es por esceso; mas como el error que hemos obtenido es bastante grande puesto que es cerca del duplo de la cantidad verdadera; y por otra parte vemos que la altura se halla debajo de un radical, debemos inferir que el verdadero número que buscamos no diferirá mucho de la cuarta parte de la unidad; por lo que tomarémos por segundo número supuesto 0,25; lo cual por otra parte nos conducirá sin mucha complicacion á otro número mas aproximado; pues como su raiz cuadrada es 0,5, no tenemos que hacer una estraccion de raiz cuadrada ni una multiplicacion engorrosa; por lo que haciendo dicho supuesto nos resulta

$$0,371087=\sqrt{0,25}\times\left(1-\frac{1}{32\left(\frac{0,25}{0,07807}\right)^2}-\frac{5}{1024\left(\left(\frac{0,25}{0,07807}\right)^2\right)^2}\right);$$

que, efectuadas todas las operaciones, obtengo por último 0,498453; resultado mayor que 0,371087 en 0,127366; por lo que señalando este error con el signo + será +0,127366.

Ahora tenemos ya lo suficiente para aplicar el método; pues hemos averiguado los errores que provienen de dos números supuestos, y siendo el 0,25 el que da menor error numérico, hallarémos la correccion que se le debe hacer formando la siguiente regla de tres ó proporcion.

0,498091 (diferencia entre los errores 0,625457 y 0,127366 por tener ámbos el mismo signo) : 0,75 (diferencia entre los dos números supuestos 1 y 0,25) : : 0,127366 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,019178; el cual restado de 0,25 da 0,230822.

Tomo este valor 0,230822 por tercer número supuesto; el cual sustituido en la (ec. 77) y ejecutadas todas las operaciones da por último 0,478691; resultado mayor que 0,371087 en 0,107604;

por lo que señalaré este error con el signo + y diré que el error es de + 0,107604.

Ahora, para saber la correccion que debo hacer al número supuesto 0,230822; formo la siguiente proporcion

0,019762 (diferencia entre los dos errores 0,127366 y 0,107604 por tener ámbos un mismo signo) : 0,019178 (diferencia entre los números supuestos 0,25 y 0,230822) : : 0,107604 (menor error numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,104423; el cual restado de 0,230822, da 0,126399.

Tomo ahora este valor 0,126399 por cuarto número supuesto, y sustituyéndole en la (ec. 77) da por último resultado 0,351035; valor menor que 0,371087 en 0,020052; por lo que señalaré este error con el signo — y será — 0,020052.

Y para saber la correccion que debo hacer al cuarto supuesto 0,126399, formo la proporcion siguiente

0,127656 (suma de los errores 0,107604 y 0,020052 por tener aquí diferente signo) : 0,104423 (diferencia entre los supuestos 0,230822 y 0,126399) : : 0,020052 (error que tiene menor valor numérico) : al cuarto término, que encuentro ser 0,016403; el cual sumado con el supuesto 0,126399 de donde ha provenido, me da 0,142802.

Tomando ahora este valor 0,142802 por quinto número supuesto, y sustituido en la (ec. 77) da por último resultado 0,374197; que escede al número verdadero 0,371087 en 0,00311; por lo que señalaré este error con el signo + y será + 0,00311.

Ahora, para conocer la correccion que debo hacer al número 0,142802, de donde proviene dicho error, formaré la siguiente proporcion

0,023162 (suma de los errores 0,020052 y 0,00311 por tener aquí diferente signo) : 0,016403 (diferencia de los supuestos 0,142802 y 0,126399) : : 0,00311 (menor error numérico) : al cuarto término, que hallo ser 0,002202; el cual restado de 0,142802 da 0,1406.

Cuyo valor es efectivamente el que debíamos obtener, segun hemos visto ántes; y hemos hallado el verdadero valor con la competente aproximacion ó exactitud sin mas que cinco supuestos; lo cual aunque penoso, dista mucho de ser imposible, y por consiguiente no debe arredrarnos demasiado, ántes por el contrario nos debemos alentar al poseer un recurso tan poderoso, seguro, infalible, y al alcance de los que posean únicamente los conocimientos triviales contenidos en la Aritmética de Niños, para resolver las ecuaciones elevadas, que se resisten á cuantos procedimientos Matemáticos proporcionan

tanto los métodos de la Análisis finita como los fecundos medios del Cálculo Infinitesimal.

143 Todo lo espuesto hasta el presente en este capítulo, ha sido en el supuesto de que el agua está en reposo en el depósito, vaso ó estanque donde se halla contenida; pero en la práctica, por lo general, estas aberturas se hacen en canales, rios, caces, acequias ó cualesquiera otras corrientes de agua en que este líquido goza de un movimiento sensible y tiene una velocidad determinada; y si no atendiésemos á esta circunstancia, que ocurre con mucha frecuencia, nuestros resultados carecerían de la competente exactitud. Por lo cual, vamos á manifestar como se hallarán los resultados atendiendo á esta circunstancia. En general, segun lo espuesto (§§ 50 y 51 Mec. Práct.), no hay mas que hallar la altura debida á la velocidad media de la corriente; y considerar la altura efectiva del líquido sobre el centro de la abertura ú orificio, disminuida en la cantidad que resulte para la espresada altura debida á la velocidad.

Con este objeto, vamos á resolver algunas de las cuestiones anteriores, teniendo en consideracion esta circunstancia:

1.ª Supongamos ahora que en la cuestion resuelta (119), la abertura se halle hecha en la pared vertical de un canal, acequia, rio, caz &c. en que el agua se mueva con 4 pies de velocidad media por segundo. Para encontrar la altura debida á esta velocidad, cuadraré el 4 y tendré 16, cuyo valor dividido por el duplo de la fuerza de la gravedad en Madrid, que es 70,1922, hallo 0,227945 de pie; por lo cual restando este valor de $10\frac{1}{2}$ pies ó 10,5, que es lo que el lado inferior de la abertura se halla mas bajo que el nivel del agua en el depósito, resultará 10,272055 pies, que será el valor que debo considerar en H; y restando la misma cantidad de lo que el lado superior de la abertura se halla mas baja que el nivel del líquido, que es 9,5, se obtiene 9,272055 pies, que es el valor que debo considerar en h; y practicando la regla, del mismo modo que lo hemos hecho (119), sin mas que esta variacion, hallamos por último 2248924,24 pies cúbicos, para el gasto que buscábamos; cuyo valor tiene 33687,73 pies cúbicos ménos, como debía verificarse, á causa de que cuanto mayor sea el impulso del agua en la direccion de la corriente, tanto menor presion se ejerce sobre la abertura.

2.ª Supongamos que en la cuestion resuelta (§ 127) se halle practicado el orificio ú abertura en un canal, acequia, rio, caz, &c., en que el agua tenga 5 pies de velocidad por segundo, quedando

iguales las demas circunstancias como en dicho párrafo se han espresado. En este caso, para encontrar la altura debida á esta velocidad, cuadrarémos el 5, lo que nos dará 25, cuyo valor dividido por 69,9782 pies, que es el duplo de la fuerza de la gravedad en Manila, parage donde se supone la espresada cuestion, nos resulta 0,357254 de pie; restando este valor de la carga, que está espresada en dicha cuestion por 3 pies, nos resulta 2,642746 pies, que será el valor que se deba considerar como verdadera carga, ó el valor que debe tener H, en la (ec. 59); y practicando la regla en los mismos términos que allí lo hemos ejecutado, nos resulta que el ancho del espresado orificio, atendiendo á esta circunstancia, deberá ser efectivamente 1 pie 8 pulgadas y 5 líneas, que contiene 3 pulgadas y 7 líneas mas que el obtenido allí, lo cual debe verificarse, porque teniendo menor presion el agua en la abertura, á causa de la velocidad en la corriente, para que, en un tiempo dado, salga una misma cantidad de líquido, es preciso que el ancho de la abertura sea mas grande.

3.ª Si resolvemos la cuestion del (§ 128) en el supuesto de que la abertura se halle practicada en una corriente de agua, cuya velocidad media sea de 8 pies por segundo; hallarémos primero la altura debida á la espresada velocidad, para lo cual el cuadrado de 8, que es 64, lo dividirémos por 70,1956 duplo de la fuerza de la gravedad en Valencia, y tendrémos que la espresada altura es 0,911738; la cual restada de 4 pies, que es la carga, nos da 3,088262 pies para el verdadero valor que debemos considerar en la carga; y practicando la regla (§ 128), sin mas que esta variacion, hallamos 4 minutos y 47 segundos, que es mayor que el resultado allí obtenido, á causa de que el estar el líquido en movimiento equivale á ejercer menor presion sobre la abertura; y saliendo entónces el agua por ella con ménos velocidad, para que salga una cantidad determinada de agua por la misma abertura, se necesita indispensablemente mas tiempo.

4.ª Si resolvemos la cuestion del (§ 130), sin mas diferencia que suponer que la abertura se halle practicada en una corriente, cuya velocidad media sea de 2 pies, hallarémos que á esta velocidad corresponde en Madrid, segun lo espuesto, una altura de 0,057 de pie: la cual añadida á la de 6 pies, que allí hemos obtenido, nos espresará la verdadera carga que debe tener el agua en la corriente para que produzca allí el gasto mencionado que equivale á 6 pies y 8 líneas.

5.ª Propongámonos por último resolver la cuestion del (§ 138) sin mas diferencia que suponer que el orificio se halla practicado en la pared de una corriente de agua cuya velocidad media sea de 7 pies por segundo. En este caso, la altura debida á esta velocidad es 0,69795; y restándola de 6 pies, que es la altura que allí hemos supuesto, nos resultará 5,30205 para la verdadera carga que debe considerarse sobre el orificio, ó para el verdadero valor de H en la (ec. 70); y practicando la regla (§ 138), se obtiene por último resultado 168,3675 pies cúbicos; que es un gasto menor, porque el estar el agua en movimiento equivale á tener mênor presion, y por consiguiente á salir con ménos velocidad, y en su consecuencia en un tiempo dado, producirá menor gasto.

Con lo cual juzgamos haber resuelto el competente número de ejemplos tanto suponiendo el agua en reposo como en movimiento, para que familiarizados los lectores no encuentren dificultad en ninguna de las cuestiones que les pueden ocurrir en la práctica.

CAPÍTULO VIII.

Idéas generales relativas á la conduccion de las aguas y resolucion de las principales cuestiones que pueden ocurrir acerca de su movimiento en los canales, rios, arroyos, caces, acueductos, acequias, &c.

144 En los capítulos anteriores, hemos manifestado cuanto es relativo á la salida del agua de los depósitos en que se halle contenida; y hemos enseñado á resolver todas las cuestiones que pueden ocurrir en la práctica. Todo lo dicho supone tácitamente, que el agua se empléa en los mismos parages en donde se verifica su salida por los orificios de los vasos ó depósitos que la contienen; pero no es este el caso que ofrece mas frecuentemente la naturaleza. En efecto, el agua, segun hemos visto en la Introduccion y en el capítulo II del libro 1.º, se presenta por lo general en las faldas de las montañas, descendiendo por sus partes mas profundas, que se suelen llamar *barrancos*; ó se encuentra en el seno de la tierra, cuando se trata del laboréo de las minas; pero donde necesitamos hacer uso de ellas, es en las poblaciones, para satisfacer las necesidades de los pueblos, en las campiñas para regar nuestros sembrados, ó donde abundan las primeras materias para los establecimientos industriales, ó desde donde se puedan trasladar con facilidad los objetos manufac-

turados á los parages donde se han de consumir; porque, en general, es mas cómodo y ventajoso mudar la localidad de la potencia mecánica para situarla en el parage donde el trabajo pueda ejecutarse mejor, que conducir la materia, sobre que se ha de efectuar el trabajo, al parage donde se halla la potencia. Por esta causa, es indispensable ocuparse ahora de los medios de hacer pasar el agua desde las localidades en que la naturaleza la presenta hasta el sitio en que el hombre necesita emplearla para satisfacer sus necesidades, atender á sus conveniencias, y proporcionarse las correspondientes ventajas y utilidades.

El agua en general, llega desde el parage donde la presenta la naturaleza hasta el punto donde se necesita usar por *concavidades ó lechos naturales*, y tambien *artificialmente*, por uno de estos medios. A la primera clase pertenecen los *rios*, *arroyos*, *torrentes*, &c., que hay sobre la superficie de la tierra, igualmente que los conductos subterráneos en el interior del Globo, por los que corre el agua de un modo semejante al que lo hace la sangre en las venas y arterias de los animales. Y á la segunda corresponden los *acueductos*, *canales*, *acequias*, *caces*, *encañados*, &c.

Aunque parece natural esta division, científicamente hablando, no es tan exacta; pues el movimiento de las aguas en los *rios*, *arroyos*, *torrentes*, &c., que son lechos *naturales*, se verifica en virtud de las mismas leyes, y se determina por las mismas fórmulas, que el movimiento por los lechos artificiales, que se conocen bajo las denominaciones de *canales*, *acequias*, *caces*, &c., y las mismas leyes y fórmulas convienen á las concavidades subterráneas por donde pasa el agua, en lo interior del Globo, que á todo lo que se comprende bajo el nombre de *encañados*, *tubos de conduccion*, *cañerías*, &c.

El arte de conducir las aguas, remonta al orígen de las sociedades; pero las necesidades de los hombres han obligado en los primeros tiempos á proceder empíricamente en esta materia; y como los progresos de la civilizacion han hecho conocer las ventajas que procura el goce fácil de aguas saludables y abundantes, se ha ido perfeccionando cada vez mas, segun hemos manifestado en el resúmen histórico que ocupa todo el libro 2.°

Nosotros, siguiendo la misma ruta que los mas famosos hidráulicos, entre ellos *Mr. Prony*, dividirémos en dos capítulos todo lo relativo al movimiento de las aguas. En el presente, nos ocuparémos del movimiento de las que comprendemos bajo la frase de *con-*

rer á cielo descubierto; y en el décimo, de las que *corren por conductos cerrados*, esto es, por aquellos en que el agua ocupa toda la concavidad del conducto desde el parage por donde entra en él hasta el parage por donde sale.

Bajo la frase de *correr á cielo descubierto*, no queremos decir precisamente que entre la superficie superior de la corriente de agua y el cielo, no haya ninguna obra de mampostería, ó de cualquiera otra materia, sinó que aun cuando el agua corra por un parage que se halle cubierto con alguna bóveda, ó de otro modo cualquiera, y aunque sea en un tubo de conduccion, resulte que el agua no corra por él á *caño lleno*, verificándose que entre la superficie superior del líquido y la bóveda ó cubierta del conducto haya siempre una capa de aire. Pues reuniéndose estas circunstancias, el movimiento del agua en los canales que se cubren con bóvedas y aun en los tubos ó cañerías de mayor diámetro que el necesario para contener la cantidad de agua que pasa por él, se verifica por las mismas leyes que en los canales descubiertos por arriba enteramente; y para todos sirven las mismas fórmulas, que son las que vamos á manifestar en este capítulo; reservando para el décimo el ocuparnos de las fórmulas en que están cifradas las leyes del movimiento del agua, cuando camina por conductos en que este líquido ocupa todo el hueco de la concavidad por donde pasa.

La diferencia del movimiento en estos dos casos, proviene de que, cuando la superficie superior de la corriente del agua no tiene contacto inmediato con bóveda, ni con ninguna otra parte sólida, entónces su movimiento es mucho ménos alterado; pero cuando encuentra algunos obstáculos, ella se eleva, se hincha ó se entumece por el efecto de la presion constante que recibe de las aguas superiores; y en virtud de esta elevacion, adquiere, por sí misma, la fuerza necesaria para vencer dichos obstáculos. No sucede lo mismo cuando el agua se mueve por conductos cerrados; pues en este caso, de tal modo se pueden combinar las circunstancias, que los obstáculos que ofrecen los rozamientos &c. sean superiores á la fuerza impulsiva del agua y no haya movimiento, como ya hemos indicado (§ 68 libr. 2.º) y se comprobará en el capítulo siguiente; y reservando para el capítulo XII el indicar las principales máximas que se deben tener presentes al ejecutar las obras relativas á la conduccion de las aguas, pasarémos á deducir en este las fórmulas que determinan el movimento de las que comprendemos bajo la denominacion de *correr á cielo descubierto*.

Con este objeto, recordarémos, que (§ 54 del libro 2.º resultado 5.º) hemos indicado que en una corriente cualquiera de agua, cada filete de dicho fluido, se debe considerar animado de diferente velocidad; y que entre la inmensidad de velocidades diversas que, en una masa de agua en movimiento, se podían considerar, la *velocidad en medio de la superficie superior*, la *velocidad en el fondo*, y la *velocidad media*, debían llamar mucho nuestra consideracion; y aun mas especialmente, la *velocidad en la superficie* y la *velocidad media*; pues ocurre con mucha frecuencia el tener que determinar la una por la otra.

145 Se han discurrido varios procedimientos para medir la velocidad en la superficie, como son el *nadador*, *el molinillo*, *el tubo recurvo de Pitot*, *el regulador*, *el cuadrante*, *la caja* de que hemos hablado (§ 16 libr. 2.º) &c. &c. De todos estos métodos, el que en el dia se reconoce por mas adecuado, es el *nadador*; el cual siendo por otra parte el mas sencillo y fácil de manejar y comprender en todos sentidos, fué el que yo elegí para medir la velocidad de las aguas del Jarama en 1819; y habiendo correspondido lisongeramente á mis esperanzas, y siendo entre todo lo conocido el mas exacto, juzgo necesaria su explicacion.

146 Se reduce á tornear bien una esfera de madera, cuyo peso específico sea tal, que sumergida en el agua, se sostenga en ella, de modo que la parte mas alta enrase con la superficie superior del agua, lo cual es muy fácil de conseguir. En efecto, casi todas las maderas, escepto la encina, la cepa de vid, el guayacan, el ébano, y el palo del Brasil, son ménos pesadas que el agua; por lo que, eligiendo una que se acerque lo mas posible á tener el mismo peso específico, como son el fresno, el haya, el pino &c. despues por medio de clavos que se introducen en su superficie, ó por alguna planchita de plomo que se le une &c., se consigue bien fácilmente el que, del modo espresado, se sostenga en el agua.

147 Conseguido esto, lo que conviene es buscar un parage de la corriente, que esté lo mas en línea recta posible, que se halle léjos de los recodos, y que se observe mayor regularidad en su curso. Se mide una cierta distancia, la mayor que se pueda en línea recta, y se deja correr el nadador desde un poco mas arriba del parage medido, procurando colocarlo en donde haya mayor corriente, que será en el medio si hay la debidr regularidad en el lecho; se observa con un buen relox de segundos cuanto tiempo tarda en andar la distancia medida, y dividiendo dicha distancia por el nú-

mero de segundos que ha empleado en correrla, se tendrá, *por cada minuto segundo, la velocidad del agua en la superficie*; pues la esperiencia tiene demostrado que un cuerpo, que nada en la superficie del agua, en poco tiempo adquiere la velocidad de su corriente; y por eso hemos advertido que el *nadador* se meta en el agua algun tiempo ántes, á fin de que, al llegar al parage desde donde se ha de empezar á contar el movimiento, haya adquirido la velocidad de la misma corriente.

Esta operacion se debe ejecutar un cierto número de veces y tomar un término medio entre todos los resultados.

148. La velocidad de las aguas en la superficie de la corriente, y la velocidad media de toda su seccion, tienen cierta dependencia; por cuyo motivo, los Hidráulicos se han propuesto determinar por investigaciones experimentales una de ellas por el conocimiento de la otra.

Mr. Dubuat se ocupa en el cap. VI del segundo tomo de sus *Principios de Hidráulica*, de los esperimentos *para determinar la relacion entre la velocidad media de una corriente uniforme, y la velocidad en la superficie y en el fondo*; y despues de presentar los resultados de muchos esperimentos, dice en el § 390 "de modo que, llamando V la velocidad en la superficie, y U la del fondo, se tiene $U=(\sqrt{V}-1)^2$, cuando estas velocidades se hallan espresadas en pulgadas, y $U=(\sqrt{V}-\frac{1}{\sqrt{12}})^2$, cuando están espresadas en pies."

Pero estas fórmulas son notoriamente inexactas; pues darían á conocer que cuando no hay velocidad en la superficie, la había en el fondo; y que había una cierta ley de diminucion de las velocidades desde el fondo á la superficie; lo que es contrario á todos los esperimentos y observaciones, sin esceptuar los del mismo *Dubuat*; pues en el § 389 dice terminantemente. "Estos esperimentos prueban de una manera evidente, que las velocidades de los filetes de agua van creciendo desde el fondo de la corriente reglada hasta su superficie."

En efecto, si en la primera de dichas ecuaciones, suponemos $V=0$, esto es, que no hay velocidad en la superficie, resultará $U=(-1)^2=1$, es decir, que en el fondo habrá una pulgada de velocidad, lo que es absurdo en virtud de lo que acabamos de manifestar.

Si supusiéramos $V=\frac{1}{4}$, resultaría $U=(\sqrt{\frac{1}{4}}-1)^2=(\frac{1}{2}-1)^2=(-\frac{1}{2})^2=\frac{1}{4}$;

lo cual daría á conocer que la velocidad en la superficie era igual á la del fondo, lo que tambien es absurdo.

Si $V=\frac{1}{9}$, resultará $U=(\sqrt{\frac{1}{9}}-1)^2=(\frac{1}{3}-1)^2=(\frac{2}{3})^2=\frac{4}{9}$, que da á conocer, que la velocidad en el fondo es cuatro veces mayor que la de la superficie; lo que tambien es absurdo.

Pero lo que en esto hay de mas particular, es que habiéndose propuesto *Mr. Lecreulx* hacer un exámen crítico de la obra de *Mr. Dubuat*, y deteniéndose muy particularmente en discutir el contenido de este capítulo, y presentar objeciones á su doctrina, no haya espresado nada relativo á la inexactitud de esta fórmula: lo cual prueba cuanta es la lentitud con que el espíritu humano procede aun en las investigaciones de mayor importancia.

En cuanto á determinar la velocidad media, *Mr. Dubuat* establece § 391 "La velocidad media de una corriente uniforme y reglada es aproximadamente proporcional aritmética entre las de la superficie y del fondo: lo que suministra un modo fácil de conocer el gasto de un rio, por la sola medida de su seccion y de la velocidad del agua en su superficie &c."

Sobre este punto *Mr. Lecreulx* hace muchas reflexiones juiciosas é importantes; y teniendo en consideracion que otros Autores pretenden que *la velocidad media de una corriente de agua era igual á los cuatro quintos de la velocidad en la superficie*, creyó útil examinar cual de estas opiniones concordaba mas con los resultados de la esperiencia; y para facilitar esta comparacion, formó una nueva tabla con los esperimentos mismos de *Dubuat*, desechando 13 que no tenían todos los datos necesarios, y dejándola reducida de 48 que pone *Dubuat* á 35; de los cuales 23 se aproximan mas á dar *la velocidad de la esperiencia igual á los cuatro quintos de la velocidad en la superficie*; y solo 12 se aproximan mas á dar *la velocidad media de la esperiencia igual á la media proporcional aritmética entre las velocidades en la superficie y en el fondo.*

149 *Mr. Prony*, reconociendo los defectos de la fórmula y regla de *Mr. Dubuat* para determinar las *velocidades del fondo*, y *media*, por la de la superficie, llega á deducir (§ 194 de sus *Investigaciones* y tabla quinta de su *Coleccion* &c.), que si se espresa la velocidad media por v, y la velocidad en la superficie por V, se obtiene para la relacion entre ámbas la ecuacion

$$v=\frac{V(V+2{,}37187)}{V+3{,}15312}\ (78);$$

la cual tiene, respecto de la de *Mr.*

Dubuat, la doble ventaja de ser mas espedita y cómoda para el cálculo, de representar mas fielmente los esperimentos, y de hacer nulas á un mismo tiempo ámbas velocidades, es decir, que cuando la velocidad en la superficie es cero, debe serlo tambien la *velocidad media*, y *viceversa*; y cualquiera otra relacion, que no reuna esta circunstancia, es precisamente erronea.

Esta ecuacion nos suministra la siguiente regla práctica: *para encontrar la velocidad media de una corriente de agua cuando se conoce la velocidad en la superficie, se practicará lo que sigue: á la velocidad en la superficie se le añadirá el número constante* 2,37187; *esta suma se multiplicará por la velocidad en la superficie; y el producto que resulte se dividirá por la suma de la espresada velocidad con el número constante* 3,15312.

Ej. 1.° Propongámonos hallar la velocidad media *del Jarama*, ya reunido con el *Lozoya*, en el parage citado (§ 64 libro 2.°). Para esto, recordarémos que por tres esperimentos se dedujo que en 34 y $\frac{2}{3}$ segundos, corrió el nadador 150 pies; luego la velocidad de la corriente en un segundo era 4,32692 pies. Ahora, para hallar en virtud de la regla anterior, la velocidad media por esta velocidad, que era en la superficie y en el filete de la mayor corriente, añadiré á la velocidad encontrada 4,32692 el número constante 2,37187, y obtendré 6,69879; este le multiplicaré por la misma velocidad en la superficie, que como he dicho es 4,32692; y dividiré el producto 28,98513 por la suma de la velocidad en la superficie 4,32692 con 3,15312, que es 7,48004, y obtengo 3,87499 pies para la *velocidad media.*

Ej. 2.° Aplicando el mismo procedimiento al *Guadalix*, hallarémos por los datos espresados (§ 65 libro 2.°), que la velocidad en la superficie era de 1,85366; y la velocidad media resultaría ser 1,56442 pies.

150 Examinando las diferencias entre los resultados que da la esperiencia y la fórmula anterior, se ha deducido que se puede tener seguridad, de que la diferencia media entre un resultado de la fórmula, y el homólogo dado por la esperiencia, viene á ser $\frac{1}{30}$ del resultado efectivo que da la observacion.

151 Si queremos tener una fórmula mas sencilla, aunque con alguna ménos exactitud, podemos usar de esta $v=0,816458V$ (79); que suministra la siguiente regla práctica: *para encontrar la velocidad media, se multiplicará la velocidad en la superficie por el número constante* 0,816458, *ó aun con mayor sencillez to-*

davía, pero con menor exactitud, la $v=0,8V=\frac{4}{5}V$ (80); que suministra la siguiente regla práctica: *la velocidad media es ocho décimas, ó lo que es lo mismo cuatro quintas partes de la velocidad en la superficie*; lo que va conforme con el resultado que obtuvo *Mr. Lecreulx* y que al (148) hemos citado.

Si en virtud de estas últimas reglas, quisiéramos averiguar la velocidad media del Jarama, tomaríamos los $\frac{4}{5}$ de la velocidad en la superficie 4,32692; para lo cual la multiplicaríamos primero por 4, y el producto 17,30768, lo dividiríamos por 5, y obtendríamos 3,46154 pies, que se diferencia en 0,41335 de la verdadera. Multiplicando por el número 0,816458, se obtiene 3,53275, que se diferencia ménos que el resultado anterior.

Aplicando la misma regla al Guadalix, resulta por la regla de $\frac{4}{5}$, la velocidad media 1,48293; y por la multiplicacion del número 0,816458, resulta 1,51344.

152 Conocida la velocidad media, es preciso determinar en muchas ocasiones la de la superficie. Así sucede cuando, despues de haber determinado la velocidad media por el gasto que ha suministrado una corriente, orificio &c. en un tiempo dado. Para esto, despejarémos la V en la ecuacion (78), y tendrémos

$$V=\frac{v-2,37187}{2}+\sqrt{\left(\frac{v-2,37187}{2}\right)^2+3,15312v} \quad (81);$$ la

cual suministra la siguiente regla práctica: *hállese la diferencia entre la velocidad media y el número constante* 2,37187, *y tómese la mitad de lo que resulte. Cuádrese esta mitad hallada, y á su cuadrado, añádase el producto del número constaute* 3,15312 *por la velocidad media; y de esto estráigase la raiz cuadrada. Con esta raiz cuadrada se sumará la mitad de la diferencia entre la velocidad media y el número* 2,37187, *si la velocidad media es mayor que este número; y de la misma raiz cuadrada, se restará la mitad de la espresada diferencia, si la velocidad media es menor que el número* 2,37187.

Ej. Supongamos que el agua de un arroyo, fuente, manantial &c., haya ido á desembocar en un estanque, de planta rectangular, que tuviese 90 pies de largo, 80 de ancho, y 10 de profundidad, por un acueducto ó canal rectangular, en que la base de la seccion tuviese 4 pies y la altura 2; y que haya tardado una hora

en llenarse completamente. Se nos pide hallar la velocidad en la superficie de la corriente del canal.

Lo primero que tenemos que determinar es los pies cúbicos de agua que han entrado en el estanque; lo cual se consigue multiplicando la superficie de la base, que es 7200, producto de 90 por 80, por los 10 pies de altura; y hallo que han entrado en el estanque 72000 pies cúbicos de agua; y como esto ha sido en una hora, que tiene 3600 segundos, si divido 72000 por 3600, hallaré que en cada segundo han entrado 20 pies cúbicos de agua. Y como la seccion del canal tenía 8 pies superficiales, producto de la base 4, por su altura 2, resulta que si dividimos por 8 los 20 pies cúbicos del gasto por segundo, nos vendrá la *velocidad media*, que rerá $2\frac{1}{2}$ pies; lo cual nos quiere decir que en un segundo entró una columna de agua de 8 pies de superficie por 2 y $\frac{1}{2}$ de altura; lo que equivale á haber corrido una seccion cualquiera el espacio de $2\frac{1}{2}$ pies en un segundo. Esto es en el supuesto de que toda la masa de agua se hubiese movido uniformemente ó con la misma velocidad, que es lo que se llama *velocidad media*; pero como esto no tiene lugar en la naturaleza, sinó que cada filete camina (libr. 2.° § 54 res. 5.°) con diferente velocidad, tratemos de hallar la mayor velocidad en la superficie, que aquí, por ser el lecho regular, se hallará en medio de la corriente; lo que deberá practicarse, y por la regla anterior, del siguiente modo. Determino la diferencia entre $2\frac{1}{2}$ que es lo mismo que 2,5 y 2,37187; lo cual da 0,12813; tomo de esto la mitad, que es 0,06407; esto lo cuadro y saco 0,004105; á esto añado el producto de 3,15312 por la velocidad media 2,5 que resulta ser de 7,8828; y de la suma 7,886905 estraigo la raiz cuadrada, que es 2,80836, y como aquí la velocidad media es 2,5, que es mayor que 2,37187, sumo con esta raiz cuadrada la mitad de la diferencia entre la velocidad media y 2,37187, que es 0,06407; y resulta por último que la velocidad en la superficie habría sido 2,87243 pies.

Con mas sencillez, aunque con ménos exactitud, la podríamos haber encontrado multiplicando la velocidad media por $\frac{5}{4}$, esto es, multiplicándola primero por 5 y dividiendo despues por 4. En efecto, multiplicando 2,5 por 5, se tiene 12,5; y dividiendo por 4 resulta 3,125; que se diferencia en 0,253 de pie de la encontrada por la otra fórmula.

De todo lo cual se deduce que cuando se quiere obtener mayor sencillez, siempre es á costa de la exactitud. Por lo que, al resolver una de estas cuestiones, la persona encargada meditará bien el ob-

eto que se propone conseguir, usando de uno ú otro método segun la mportancia de la operacion.

153 Si supusiéramos que el mismo estanque se hubiese llenado en dos horas, que contienen 7200 segundos, al dividir 72000 por 7200, hubieramos sacado 10 pies cúbicos, que son los que espresarían en dicho caso el agua que había entrado en un segundo, cantidad que, repetimos, se llama el *gasto*. Y dividiendo el 10 por la superficie 8 de la seccion, resulta $1\frac{2}{8}$ ó 1,25 pies por segundo para la velocidad media. Ahora, si queremos encontrar por ella la velocidad en la superficie, aplicarémos la regla del modo siguiente. Hallo la diferencia entre la velocidad media 1,25 y 2,37187 y saco 1,12187; de lo cual tomo la mitad que es 0,5609, y elevado esto al cuadrado, saco 0,3146. A este número le añado el producto de 3,15312 por la velocidad media 1,25, que es 3,9414; y de la suma 4,256 estraigo la raiz cuadrada que es 2,06302. Ahora, como la velocidad media es menor que el número 2,37187, segun la regla, de la raiz cuadrada que acabo de sacar, deberé quitar la mitad de la diferencia 0,56094; y obtengo por último 1,50208 para la velocidad en la superficie.

En algunas ocasiones se necesita encontrar la velocidad del agua en un punto determinado de una corriente para colocar en él alguna rueda hidráulica que proporcione motor en los establecimientos de industria. En este caso, el medio mas adecuado es hacer uso de la caja cuya descripcion hemos indicado (§ 16 lib. 2.º).

154 Pasemos ya á determinar la fórmula que espresa la relacion entre el *declive*, la *velocidad media* y el *radio medio*. Con cuyo objeto, recordarémos que en el libro segundo hemos dado un *Resúmen histórico* acerca de las investigaciones relativas al movimiento de las aguas, que comprende las épocas principales en que se han verificado los adelantamientos *hasta llegar á formar una Ciencia Físico-Matemática*; y despues de presentar la fórmula, á que ha sido conducido *Mr. Prony*, en virtud de una feliz combinacion de la mas sublime Análisis, con los resultados mas exactos de la esperiencia, para cuando el agua se mueve á cielo descubierto, hemos prometido allí que en este libro daríamos á la espresada fórmula todas las trasformaciones que sean necesarias para que pueda aplicarse con feliz éxito en nuestro pais; y que pues *Mr. Eytelwein* en Prusia, siguiendo un método análogo al de *Mr. Prony* había obtenido resultados que no diferían mucho de los de éste, y por otra parte las fórmulas de *Mr. Eytelwein* se hallaban conformes con los

resultados obtenidos en los rios caudalosos de Italia, que por su posicion geográfica tienen tanta analogía con los de España, tomaríamos un término medio entre las fórmulas de *Mr. Prony* y *Mr. Eytelwein*, y que, restableciendo el factor de la gravedad, tendríamos una fórmula que conviniese á todos los puntos del territorio español en ambos mundos, y que podría ser aplicada tanto á los canales como á los rios en cualquier parage de la Tierra.

155 Vamos, pues, á ocuparnos ahora de este importante asunto, y á presentar despues la fórmula que corresponde á la posicion de Madrid; resolviendo las principales cuestiones que pueden ofrecerse, ya refiriéndonos á una localidad cualquiera del Globo Terrestre, ya contrayéndonos á la posicion de esta capital, que se puede reputar como término medio de la situacion de casi todo el territorio de la Península.

156 La fórmula de que parte *Mr. Prony*, es la que hemos señalado (4) en el libro anterior, y poniendo en ella v en vez de la U que él usa, tendrémos $gRI=Av+Bv^2$ (82).

En la cual, recordarémos que g espresa *la fuerza de la gravedad*; R el *radio medio* de la seccion; I la *pendiente*, *declive* ó *inclinacion*; A y B cantidades constantes, que son las que se deben determinar por los esperimentos; y v la *velocidad media* de la corriente.

Mr. Prony, suponiendo como hemos dicho ya (§ 94 libr. 2.º) que la *fuerza de la gravedad se debe considerar como una constante absoluta*, hace $g=9,808795$ metros, que es el valor de la fuerza aceleratriz de la pesantez en París, representada por la velocidad que adquiere un cuerpo al cabo de un segundo de tiempo de caida vertical en el vacío, y que coresponde á 35,202784 pies españoles.

Divide la ecuacion anterior por g, y le resulta $RI=\frac{A}{g}v+\frac{B}{g}v^2$ (83). Despues hace $\frac{A}{g}=a$, y $\frac{B}{g}=b$, y obtiene la ecuacion $RI=av+bv^2$ (84); que es la que él señala pág. 9 de su *coleccion*, &c., con el número (1), sin mas diferencia que él pone V en vez de lo que nosotros espresamos por v, como inicial de *velocidad media*.

Y en virtud de 31 esperimentos escogidos, deduce para a y b los valores siguientes: $a=0,0000444499$; $b=0,0003093140$. Por lo que la fórmula de *Mr. Prony* para cuando el agua corre á cielo descubierto, es $RI=0,0000444499v+0,0003093140v^2$ (85).

157 *Mr. Eytelwein*, tomando una fórmula análoga á la de

Mr. Prony determina los valores de a y de b en virtud de 91 esperimentos los mas selectos, entre ellos los que han servido á *Mr. Prony*; y obtiene para a y b los valores siguientes

$a=0,0000242651$; $b=0,0003655430$. De suerte que la fórmula de *Mr. Eytelwein* * es tambien para cuando el agua corre á cielo descubierto $RI=0,0000242651v+0,0003655430v^2$ (86).

158 Y tomando yo un término medio entre el valor de a obtenido por *Mr. Prony*, y el de la misma letra encontrado por *Mr. Eytelwein*, lo que se ejecuta sumando los dos espresados valores, y tomando la mitad de la suma, obtengo para dicho valor medio $a=0,0000343575$; y ejecutando lo mismo con los dos valores de b, hallados el uno por *Mr. Prony* y el otro por *Mr. Eytelwein*, saco por término medio $b=0,0003374285$; de manera que la fórmula mia es $RI=0,0000343575v+0,0003374285v^2$ (87).

159 Para convencernos de que esta fórmula debe ser mas exacta que las de *Mr. Prony* y *Mr. Eytelwein*, es suficiente observar que las de estos dos Sabios se reputan como bastante conformes para los usos comunes que ocurren en la práctica, pues que las diferencias en los resultados no son de consideracion; y como la mia da valores siempre intermedios entre los otros, resulta que la mia debe conducir con mas seguridad y aproximacion al verdadero resultado. Para que todo esto se presente á la vista, tomarémos de la tabla primera, inserta en la citada *Coleccion* &c., los valores obtenidos por *Mrs. Eytelwein* y *Prony* correspondientes á unas cuantas velocidades, y los que resultan por mi fórmula en la siguiente tabla

Valores de la velocidad media v.	Valores de RI correspondietes á los de v.		
Metros.	Eytelwein.	Vallejo.	Prony.
0,01	0,0000003	0,0000004	0,0000005
0,10	0,0000060	0,0000067	0,0000075
0,36	0,0000561	0,0000561	0,0000561
1,00	0,0003898	0,0003718	0,0003538
2,00	0,0015107	0,0014184	0,0013262
3,00	0,0033627	0,0031399	0,0029172

* *Mr. Eytelwein* usa de otras letras, pero el resultado es el que ponemos en el texto.

Aquí se observa, que la mayor diferencia entre los resultados de *Mr. Eytelwein y Prony* es 0,0004455, que se reputa, y con razon, de una pequeñez de poco momento; luego con mayor razon se deberán reputar por exactos los valores que da mi fórmula, que se separa en la mitad de cualquiera de los resultados que dan las otras dos.

160 Demostrada ya la poca discordancia entre los resultados de *Mr. Eytelwein y Prony*, y que los mios discordan ménos que los de estos Sábios, pasemos ahora á restablecer el factor de la gravedad; pues tenemos demostrado (29), que no se puede suponer constante la gravedad en la inmensa estension del territorio español, ni en general para todo el Globo.

Mr. Prony supone $\frac{A}{g}=a$; y siendo $a=0{,}000444499$ resulta que $A=a\times g=0{,}000444499\times g$; supone tambien $\frac{B}{g}=b=0{,}0003093140$, que da $B=0{,}0003093140\times g$; y como *Mr. Prony* supone $g=9{,}808795$, multiplicando por esta cantidad los valores de a y de b, tendrémos $A=0{,}0004359996$ y $B=0{,}003033997 62$: por lo que la ecuacion (82), se nos convertirá en $g\times RI=0{,}0004359996v+0{,}00303399762v^2$ (88); que es la ecuacion de *Mr. Prony*, dejando indeterminada la fuerza de la gravedad para poderse aplicar á cualquier parage, sustituyendo en vez de g el valor que le corresponde por su situacion *físico-geográfica.*

161 *Mr. Eytelwein* hace uso de la gravedad de París; pero supone que es 362,352 pulgadas de Rey de París, que equivalen á 30,196 pies franceses; y como en virtud de la tabla de la página 254 del tomo 4.° de la traduccion de las cartas de Euler á una Princesa de Alemania, el metro equivale á 3,078444 pies franceses, resulta que dividiendo 30,196 por este número, se tiene 9,8088514 metros para el valor de la fuerza de la gravedad de que hace uso *Mr. Eytelwein*; cuyo valor es algo mayor que el que supone *Mr. Prony*; lo que puede provenir de haber tomado la aproximacion por esceso ó haberla tomado en diferente punto de París respecto de donde la toma *Mr. Prony*. Por lo que, para proporcionarnos una fórmula análoga á la (88), por la de *Mr. Eytelwein*, observarémos del mismo modo, que $\frac{A}{g}=\frac{A}{9{,}8088514}=a=0{,}000024265 1$; que da $A=0{,}0000242651\times 9{,}8088514=0{,}00023801276$;

y $\frac{B}{g}=\frac{B}{9,808514}=b=0,000365543o$; que da

$B=0,000365543o\times 9,808514=0,003585 5697$.

Por consiguiente, la ecuacion (88), correspondiente á los datos de *Mr. Eytelwein*, dejando indeterminada la fuerza de la gravedad, será $g\times RI=0,0002380127 6v+0,00358555697v^2$ (89).

162 Tomando ahora un término medio entre los dos números ó coeficientes que multiplican á v en la fórmula (ec. 88) de *Mr. Prony*, y esta última de *Mr. Eytelwein*, y haciendo lo mismo con los que multiplican á v^2, resultará como fórmula de valor medio, que se aproximará mas á dar los verdaderos resultados, la siguiente

$$g\times RI=0,00033700636v+0,0033097729v^2\ (90);$$

la cual nos podrá servir con mas exactitud que las de *Mr. Eytelwein y Prony* para un parage cualquiera del Globo, sustituyendo en ella el valor de g que corresponde á su localidad. Para no dejar rastro de duda acerca de que esta fórmula da valores medios entre los que sacan dichos Autores, dividamos por g toda la ecuacion, para que esta resulte análoga con la (87); mas como estos dos Sabios dan diferente valor á g, tomarémos un término medio tambien entre los de los espresados Autores, y se tendrá que dicho valor medio de g, será 9,8088232; y dividiendo las cantidades constantes del segundo miembro de la ecuacion anterior, por 9,8088232, nos resultará $RI=0,00003435747v+0,00033742858v^2$ (91); la cual para los valores $v=0,01$, $v=0,10$, $v=0,36$, $v=1,00$, $v=2,00$, $v=3,00$, da los mismos valores que hallamos ántes, por la (ec. 87), y están contenidos en la tabla anterior; donde se ve que dichos valores son medios exactos aritméticos entre los de *Mr. Eytelwein y de Mr. Prony*.

163 Teniendo pues ya una completa seguridad de que la fórmula (ec. 90) es la mas exacta que se puede obtener en el estado actual de los conocimientos Hidráulicos, para aplicarla al *curso de las aguas que se mueven á cielo descubierto en todos los puntos del Globo*, no hay mas que sustituir en ella el valor que corresponda á g, segun su latitud y altura del parage sobre el nivel del mar; y para facilitar su aplicacion, la traducirémos en regla, diciendo, que *el producto de la fuerza de la gravedad por el radio medio y por el declive, es igual con el producto del número* 0,00033700636 *por la velocidad media; sumado con el producto del número* 0,0033097729 *por el cuadrado de la misma velocidad*.

164 Si en la espresada (ec. 90), despejamos la I, resulta

$$I=\frac{0{,}00033700636v+0{,}0033097729v^2}{g\times R}$$ (92); que suministra la siguiente regla práctica: *para encontrar el declive, inclinacion ó pendiente, que se deba dar á una corriente de agua, conocida que sea la velocidad media, la gravedad, y el radio medio, se multiplicará el número 0,00033700636 por la velocidad media; se multiplicará el número 0,0033097729 por el cuadrado de la misma velocidad media; se sumarán estos dos productos; y la suma se dividirá por el producto de la fuerza de la gravedad por el radio medio de la seccion de la corriente.*

Ej. Si quisiéramos encontrar el declive que se debería dar á un canal, cuyo radio medio fuese de 3 pies, para que en Búrgos tuviese la velocidad media de 4 pies por segundo, multiplicaríamos el número 0,00033700636 por la velocidad media, que es 4 pies, y hallaríamos 0,00134802544; multiplicaríamos 0,0033097729 por el cuadrado 16 de la velocidad media, lo que daría 0,0529563664; sumando estos resultados, hallaríamos 0,0543044620 8; y dividiendo esta suma por el producto de la fuerza de la gravedad, que en el caso actual es 35,1035 por el radio medio que es 3, hallaríamos finalmente 0,0005157.

Espresando este resultado en forma de quebrado comun, tendrémos $\frac{5157}{10000000}$; y reduciéndolo á otro cuyo numerador sea la unidad, dividiendo los dos términos por 5157, resultará $\frac{1}{1939}$ y quiere decir que *la solera ó lecho del espresado canal deberá tener un pie de inclinacion, desnivel ó declive en cada distancia de* 1939 pies.

165 Si quisiéramos encontrar la velocidad media, conociendo el radio medio y el declive, despejaríamos la v, en la (ec. 90), lo que nos dará *

* Como la (ec. 90) es de segundo grado, daría dos valores para v; pero siendo negativo el uno, es inútil para nuestro objeto; por lo que en este y los demás casos análogos, nada ponemos relativamente á los valores de cuya consideracion no saquemos ventajas en la práctica.

Si en la (ec. 93) observamos que el término 0,0025919025 que hay dentro del radical, es el cuadrado del término —0,0509107306 que hay fuera, y tenemos por otra parte en consideracion la pequeñez de estas cantidades, echarémos de ver que no se cometería un grande error si suprimiésemos ambos términos en la espresada ecuacion (93); pues el uno influye en sentido diferente del otro, aunque no directamente opuesto para que se destruyan exactamente. En este caso, la espresada (ec. 93), se nos convertirá en $v=\sqrt{302{,}1351325\times g\times R\times I}$; que estrayendo la raiz cuadrada del número constante, se tiene $V=17{,}38203\times\sqrt{g\times R\times I}$; la cual se puede tomar tambien por

$$v = -0,0509107306 + \sqrt{0,0025919025 + 302,1351325.g.R.I} \quad (93);$$

la cual traducida en regla, nos dice, que *para encontrar la velocidad media, conocido que sea el declive y radio medio, con la gravedad en el parage en que se opera, se multiplicará el número 302,1351325 por la fuerza de la gravedad en dicho parage, por el radio medio y por el declive; á lo que resulte, se le añadirá el número 0,0025919025; y de la suma, se estraerá la raiz cuadrada; de la cual, se restará el número 0,0509107306; con lo que se tendrá la velocidad media que se buscaba.*

Ej. Si quisiéramos determinar la velocidad media que resultaría en la Habana, para el agua que corriese en un canal ó rio cuyo declive fuese $\frac{1}{10000}$, y cuyo radio medio fuese 2 pies, teniendo presente que la gravedad en la Habana es 35,0184 pies, y practicando la regla, encontraríamos por último resultado 1,40467 pies.

166 Si en la ecuacion (90) despejásemos la R, tendríamos el valor del radio medio, espresado en los de la velocidad media y del declive; la ecuacion que resulte deberá ser verdadera en todo caso práctico: mas sin embargo, no podria servirnos para determinar el radio medio, suponiendo arbitrariamente el declive y la velocidad media; pues como dicha velocidad media pende del declive, no se les pueden suponer cualesquiera valores: así como, para encontrar la *superficie de un círculo*, que se sabe (§ 359 *I C*) *es igual á la circunferencia multiplicada por la mitad del radio*, no se pueden tomar á arbitrio cualesquiera valores para la *circunferencia y el radio*, sinó que es preciso determinar por otro medio la circunferencia dado el radio, ó el radio dada la circunferencia.

Por esta causa, para determinar el radio medio, observarémos que *la velocidad media es igual á la cantidad de agua que en la unidad de tiempo, que es un segundo, pasa por la seccion, dividida por la superficie de la misma seccion.*

Luego si espresamos por Q la cantidad de agua que pasa en un segundo, que es lo que se llama el *gasto*, y por s la superficie de la

---

fórmula aproximada; y de ella se puede inferir, análogamente á lo espuesto (§ 15 Comp. de Mec. Práct.) que *las velocidades medias de las corrientes de agua que se mueven á cielo descubierto, guardan la misma razon que las raices cuadradas de los productos de la fuerza de la gravedad por el radio medio y por el declive; que, á igualdad de las gravedades, están en las mismas razones que las raices cuadradas de los productos de los radios medios por los declives; y que, á igualdad de gravedad y de radios medios, las espresadas velocidades medias guardan la razon de las raices cuadradas de los declives &c. &c.*

seccion, tendrémos $v=\frac{Q}{s}$ (94); é introduciendo en vez de R su valor $\frac{s}{p}$ (ec. 2 § 59 lib. segundo), la (ec. 90) se nos convertirá en

$$g\times I\times\frac{s}{p}=0{,}00033700636\frac{Q}{s}+0{,}003309777729\frac{Q^2}{s^2}\ (95);$$

ó quitando los divisores, en

$$g\times I\times s^3=p(0{,}00033700636\times Q\times s+0{,}003309777729Q^2)\ (96);$$ en la cual, despejando p, que es el perímetro mojado, se tiene

$$p=\frac{g\times I\times s^3}{0{,}00033700636\times Q\times s+0{,}003309777729\times Q^2}\ (97).$$

Cuando el declive y *el gasto* del agua, son dados de antemano, y ademas se asigna la superficie de la seccion perpendicular á la corriente, sirve esta fórmula para hacer de tal modo la figura de dicha seccion, que el perímetro mojado tenga precisamente el valor que da la ecuacion anterior.

167 Aquí es donde se requiere la mayor sagacidad en el que dirige esta operacion hidráulica para combinar el que se aproveche la mayor cantidad de agua, y el que se gane la mayor altura, dando el menor declive posible, á fin de conducir las aguas al parage á que se destinan, conservándose á la mayor altura; pues ya sea para regar, ya para mover alguna máquina, ó ya para satisfacer las necesidades de los pueblos, siempre conviene que el agua se conserve á la mayor elevacion para poderla distribuir despues con mas facilidad y ventajas.

Por esta causa, el que dirija esta operacion debe hacer diferentes combinaciones para ver cual es la que concilia mayor número de ventajas con el menor número de inconvenientes. La cantidad de agua y el declive, muchas veces son fijos por la naturaleza de la cuestion, y no se pueden alterar; pero en la determinacion de la superficie de la seccion y de su figura, para que el perímetro mojado satisfaga á la ecuacion anterior, puede contribuir mucho para el acierto una prudente combinacion de todas las circunstancias locales.

La fórmula anterior nos suministra la siguiente regla: *para determinar el perímetro mojado, cuando se conoce la gravedad y se ha fijado de antemano, por las circunstancias particulares de la cuestion, el declive, la superficie de la seccion, y la cantidad de agua que ha de pasar por ella en un segundo, se multiplicará la*

fuerza de la gravedad por el declive y por el cubo del número que representa la superficie de la seccion, y esto se dividirá por la suma del producto del número 0,00033700636, *por el gasto de agua en un segundo, y por la superficie de la seccion con el de* 0,0033097729 *multiplicado por el cuadrado del espresado gasto de agua en un segundo.*

Ej. Supongamos que en Manila se tenga que hacer un canal, cuya seccion perpendicular á la corriente sea de 30 pies superficiales y el gasto 60 pies cúbicos de agua por segundo, siendo el declive $\frac{1}{8000}$; como en este caso, la fuerza g de la gravedad es 34,9891 pies, practicando la regla, encuentro por último resultado 9,430603; luego el perímetro mojado deberá ser, en el espresado supuesto, 9,430603 pies.

168 Si en la ecuacion anterior, despejamos la I, tendrémos

$$I=\frac{p(0,00033700636\times Q\times s+0,0033097729\times Q^2}{g\times s^3}\ (98);$$

la cual nos puede servir para determinar el declive, cuando se necesite hacer pasar una cantidad determinada de agua, por una seccion, igualmente conocida en magnitud y figura; dicha ecuacion traducida en regla, quiere decir, que *se multiplique el perímetro mojado por la suma del producto de* 0,00033700636 *por la cantidad de agua, que ha de pasar en un segundo, y por la superficie de la seccion, con el* 0,0033097729 *por el cuadrado de la espresada cantidad de agua, y que todo esto se divida por el producto de la fuerza de la gravedad por el cubo de la superficie de la seccion.*

Ej. Supongamos que se tratase de sangrar la laguna de *Peñalara* para conducir sus aguas á un establecimiento industrial en las inmediaciones de *Buitrago*, de San Antonio de la Cabrera, &c. Este caso ofrece una diferencia de nivel sumamente considerable; por lo cual, y para sacar todas las ventajas posibles convendrá que la seccion sea muy pequeña, con el objeto de que los gastos de escavacion ó construccion del acueducto sean menores, y que aumentando la velocidad, resulte una gran cantidad de agua; y así nos propondrémos *hallar el declive, que se deberá dar á un canal, cuya seccion sea de 6 pies superficiales, y cuyo perímetro mojado sea de 5 pies longitudinales para que en un minuto de tiempo suministre cuatro mil y doscientos pies cúbicos de agua.*

Multiplico el número 0,00033700636 por 70, que es el número de pies cúbicos de agua que pasan en un segundo, puesto que en un minuto ó 60 segundos, pasan 4200, y hallo 0,0235904452; multi-

plico este número por 6, que representa la superficie de la seccion, lo que da 0,141542671 2. Ahora, multiplico el número 0,0033097 7729 por el cuadrado del gasto que es 4900; lo que da 16,217908721. Sumo este número con el hallado ántes y obtengo 16,3594513922; multiplico esta suma por el perímetro mojado, que es 5 pies, y saco 81,797256961.

Multiplico la fuerza de la gravedad, que en dicho punto de Peñalara es 35,0843 pies, por el cubo de 6, que es 216, y resulta 7578,2088.

Por último, divido 81,797256961 por 7578,2088, y hallo 0,01079, que espresado en quebrado comun, da $\frac{1079}{100000}$, ó dividiendo los dos términos por 1079, resulta $\frac{1}{93}$ con corta diferencia; lo cual nos quiere decir que *en cada* 93 *pies de distancia horizontal, deberémos dejar un pie de inclinacion, declive ó desnivel.*

169 Si en el primer miembro de la (ec. 95) sustituimos R por $\frac{s}{p}$, tendrémos $g\times I\times R = 0{,}00033700636\frac{Q}{s} + 0{,}0033097 7729\frac{Q^2}{s^2}$ (99); y si ahora multiplicamos por s^2, y despejamos la s, tendrémos por último resultado, desechando un valor negativo, que nada nos querría decir con relacion á nuestro objeto,

$$s = \frac{0{,}0001685031 8 + \sqrt{0{,}00000002839 2 + 0{,}0033097 7729\times R\times I}}{g\times I\times R}.Q \quad (100)$$

la cual nos puede servir con muchas ventajas para encontrar la superficie de la seccion en los canales de derivacion, destinados únicamente á conducir el agua de un parage á otro: dándosenos conocidas la inclinacion y cantidad de agua, y un valor absoluto del radio medio, que de antemano se puede uno proponer por algun motivo particular. Y traducida en regla la espresada fórmula, nos dice que *se multiplique el número* 0,0033097 7729 *por la gravedad, por el radio medio y por el declive; que á este producto se añada el número* 0,00000002839 2; *que de todo esto se estraiga la raiz cuadrada; que á esta raiz se le añada el número* 0,0001685031 8; *que el resultado se parta por el producto de la gravedad por el declive y por el radio medio; y el cociente que se obtenga se multiplique por la cantidad de agua que ha de pasar en un segundo*; y se tendrá la superficie de la seccion.

Ej. Si en Vergara deseáramos saber la superficie que debía tener la seccion, cuyo radio medio fuese de 1 pie, y el declive $\frac{1}{12000}$, para que en un segundo pasasen 50 pies cúbicos de agua, co-

mo en Vergara la fuerza de la gravedad es 35,1169 pies, practicando la regla, obtendríamos por último 56,05; y quiere decir, que la superficie de la seccion debería ser de 56,05 pies cuadrados.

170 Si en la (ec. 99) despejamos la R, tendrémos

$$R=\frac{Q}{g\times I\times s}\left(0{,}00033700636+0{,}00330977729\frac{Q}{s}\right) \quad (101);$$

la cual nos puede servir para encontrar el radio medio, cuando el gasto y el declive sean dados por la naturaleza de la cuestion, y ademas otras circunstancias hayan obligado á fijar de antemano la superficie de la seccion; y la espresada fórmula nos suministra la siguiente regla práctica: *multiplíquese el número* 0,00330977729 *por el cociente de dividir el gasto por la superficie de la seccion; á esto añádase el número* 0,00033700636; *lo que resulte se multiplicará por el gasto de agua; y lo que se obtenga se dividirá por el producto de la fuerza de la gravedad, por el declive y por la superficie de la seccion.*

Ej. Supongamos que en el cabo Ortegal se trate de formar un canal que produzca 80 pies cúbicos de agua en un segundo, siendo $\frac{1}{6000}$ el declive, y 45 pies cuadrados la superficie de la seccion perpendicular á la corriente. Como en dicho parage la fuerza g de la gravedad es 35,1231 pies, practicando la regla, encontraría por último 1,889; y quiere decir que el radio medio sería 1,889 pies *.

171 Determinado ya el radio medio, la cuestion es susceptible aun de varias resoluciones segun sea la figura que se quiere tenga la

---

* Si hubiéramos supuesto que la superficie de la seccion del canal era 15 pies, y que los demas datos fuesen los mismos, hubiéramos encontrado 16,39 pies para el radio medio; este resultado nos indica ya que la cuestion en los términos propuestos no es posible.

En efecto, siendo la superficie de la seccion 15 pies y el radio medio 16,39 pies, como el perímetro mojado es igual con la superficie de la seccion dividida por el radio medio, si partimos 15 pies por 16,39, nos vienen á resultar unas seis décimas de pie para el perímetro mojado, y se concibe con facilidad que no puede haber ninguna figura que con un perímetro mojado tan pequeño pueda tener una superficie tan grande como 15 pies.

Esta imposibilidad absoluta nos la darán á conocer las mismas fórmulas cuando se trate de hallar definitivamente las dimensiones de la seccion, como verémos nota del § 174.

Tal es la exactitud admirable á que conducen los procedimientos matemáticos, que si uno por distraccion ó inadvertencia se propone una cuestion que no es posible en la naturaleza, el método y las fórmulas que nos suministran las Matemáticas hacen patente al instante la imposibilidad de nuestros equivocados supuestos.

seccion; pues los datos conocidos de la superficie de esta y del perímetro mojado todavía dejan indeterminada la forma de la seccion. Sobre este punto, no puedo ménos de repetir mi opinion, de que *sería de la mayor importancia el medir muchas secciones de rios y de canales, para tomar despues una figura de seccion que satisfaciese mejor á todas las circunstancias de la naturaleza.* Mas en el ínterin que esto se ejecuta, enseñarémos aquí á determinar, con toda generalidad, la construccion de esta figura en el supuesto de que sea paralelográmica ó trapecial, que son los casos ordinarios que hasta ahora se han considerado en la práctica.

Principiemos por el caso en que, ademas de conocerse la superficie en cantidad, y el radio medio, se desée que la figura sea un paralelógramo rectángulo.

En este caso, espresando por l el lado de la base, y por h la altura, se tendrá $s=l\times h$ (102); y el perímetro mojado será $l+2h$; el cual deberá ser lo que hemos llamado p, que es igual con $\frac{s}{R}$; luego se tendrá $l+2h=\frac{s}{R}$ (103); despejando la l y la h por medio de estas dos ecuaciones, se obtiene, despues de hechos todos los cálculos, $l=\frac{s\pm\sqrt{s(s-8R^2)}}{2R}$ (104), $h=\frac{s}{l}$ (105); las cuales suministran dos resoluciones; es decir, que dan dos figuras *paralelográmico-rectangulares*, que pueden satisfacer á la cuestion; por lo que el Hidráulico deberá elegir aquella que mejor concilie todas las demas circunstancias. Traduciendo en regla las espresadas ecuaciones, nos dan la siguiente: *para determinar los lados del rectángulo, cuando se conozca su superficie y el radio medio, se restará de la superficie de la seccion, el óctuplo del cuadrado del radio medio; esto se multiplicará por la superficie de la seccion; del producto se estraerá la raiz cuadrada; esta se sumará con la espresada superficie; y la suma se dividirá por el duplo del radio medio; con lo cual tendrémos uno de los valores del lado horizontal; la misma raiz cuadrada se restará de la superficie de la seccion, y lo que resulte se dividirá por el duplo del radio medio; lo que dará el otro valor del lado horizontal que debe formar la base de la seccion.*

Para encontrar la altura de la seccion, ó el lado vertical, se dividirá la superficie de la seccion por cada uno de los dos valores del lado horizontal y se obtendrán los dos valores del lado vertical.

172 Si el perfil de la seccion debe ser un trapecio, espresando por $n \times h$ la base del talud, esto es, llamando n el coeficiente ó número por el que se ha de multiplicar la altura del trapecio para que se convierta en la base del talud y l el lado inferior ó el que se halla en la solera del canal, se tienen para determinar este lado y la altura, las dos ecuaciones siguientes *.

---

* En efecto, la (fig. 5) nos da (*V.* § 356 *IC*) $s = AH \times \frac{BE+AC}{2} = AH \times \frac{BE+AL+LM+MC}{2}$; y como AL es igual con HB por lados opuestos de paralelógramos, MC con EG y LM con BE por la misma razon, y por otra parte la figura es simétrica, esto es, debe ser igual por ambos lados, se tiene $HB=EG$; y la espresion anterior se convertirá en $s=AH \times (HB+BE)$: que, espresando por h la altura HA, y siendo $HB=n \times HA=n \times h$, si hacemos $BE=l$, nos resultará $s=h\ (l+nh)$;
ahora, $AB=\sqrt{AH^2+HB^2}=\sqrt{h^2+n^2 \times h^2}=h\sqrt{1+n^2}$; y el perímetro mojado será
$p=AB+BE+EC=h \times \sqrt{1+n^2}+l+h\sqrt{1+n^2}=l+2h\sqrt{1+n^2}$: y como tambien se tiene $p=\frac{s}{R}$; resultan las dos ecuaciones $l+2h\sqrt{1+n^2}=\frac{s}{R}$ y $s=h \times (l+n \times h)$. Despejando la l en ambas se tiene
$l=\frac{s}{R}-2h\sqrt{1+n^2}\ (A)$; y $l=\frac{s}{h}-nh$; igualando estos dos valores, resulta

$$\frac{s}{R}-2h\sqrt{1+n^2}=\frac{s}{h}-nh;$$ multiplicando por h, sale una ecuacion de 2.º grado respect de esta letra: la cual preparada (V. § 167 *IC*) es $h^2-\frac{s}{R(2\sqrt{1+n^2}-n)} \times h=-\frac{s}{2\sqrt{1+n^2}-n}$; y resolviéndola (V. § 168 *IC*) resulta, despues de hechas todas las simplificaciones,

$$h=\frac{s \pm \sqrt{s(s-4R^2(2\sqrt{1+n^2}-n))}}{2R(2\sqrt{1+n^2}-n)};$$ la cual y la (A) son las dos ecuaciones del testo.

$$h = \frac{s \pm \sqrt{s(s - 4R^2 \times (2\sqrt{1+n^2} - n))}}{2R(2\sqrt{1+n^2} - n)} \;(106)\; \text{y}\; l = \frac{s}{R} - 2h\sqrt{1+n^2} \;(107)$$

Las cuales, aunque en apariencia dan tambien dos soluciones, sin embargo, como una de ellas por lo general dará valores negativos para alguna de las dimensiones, se deberá desechar; pues no tiene significacion útil en este caso; y si en alguna cuestion resultasen reales, y con valores positivos ambas dimensiones, el encargado de la operacion las deberá comparar con las circunstancias locales, para saber la que le es mas ventajosa.

Traduciendo en regla las espresadas ecuaciones, resulta la siguiente: *para encontrar la altura del trapecio; se cuadrará el coeficiente del talud; á este cuadrado se le añadirá la unidad, y de lo que resulte, se estraerá la raiz cuadrada; del duplo de esta raiz, se quitará el espresado coeficiente; lo que resulte, se multiplicará por el cuádruplo del cuadrado del radio medio; este producto se restará de la superficie de la seccion, y lo que resulte, se multiplicará por la superficie de la misma seccion; del producto, se estraerá la raiz cuadrada; esta se sumará con la superficie de la seccion; y lo que se obtenga, se dividirá por el producto del duplo del radio medio, por el duplo de la raiz cuadrada de la unidad sumada con el cuadrado del coeficiente, quitando del espresado duplo de la raiz el mismo coeficiente.* Con lo cual se tendrá uno de los valores de la altura, y el otro valor se hallará *restando de la superficie de la seccion, la raiz cuadrada que se ha espresado ántes, y dividiendo despues lo que resulte, por lo mismo que se acaba de espresar.*

Para encontrar el lado inferior del trapecio, del cociente de dividir la superficie por el radio medio, se quitará el producto del duplo de cada uno de los valores de la altura por la raiz de la suma de la unidad con el cuadrado del coeficiente: y de este modo se obtendrán los dos valores del lado inferior.

173 Estas reglas son generales cualquiera que sea la relacion que se suponga entre la base y altura del talud; y por consiguiente se tiene todo aquello de que en la práctica puede haber necesidad; pero deseando presentar el mayor número de ejemplos y que estos ofrezcan los resultados mas útiles, harémos aplicacion de estas fórmulas y reglas á los cuatro casos que, en general, pueden ocurrir con mas frecuencia. En efecto, el mayor número de Autores, tanto teóricos como prácticos, ha supuesto hasta estos últimos tiempos, que

el talud general de las tierras, era cuando su declive formaba un ángulo de 45° ó en que *la base del talud fuese igual con la altura. Mr. Dubuat* opinaba que, al ménos para obras hidráulicas, es todavía escasa dicha base del talud, y que *debía tener cuatro partes de base por tres de altura*, que es la construccion que hemos manifestado (§ 61 libr. 2.°) reune mayor número de circunstancias ventajosas. *Mr. Prony*, en los ejemplos que cita, hace uso de supuestos en que *haya uno y medio de base por uno de altura*; y aun *dos de base por uno de altura*; por lo que deducirémos, de las fórmulas generales, las que corresponden á estos cuatro casos.

174 Supongamos primero que el *talud sea de uno de base por uno de altura*; en este caso, sustituyendo 1 en vez de n en las fórmulas (106 y 107), resulta

$$h = \frac{s \pm \sqrt{s(s - 4R^2(2\sqrt{2} - 1))}}{2R(2\sqrt{2} - 1)} \;(108), \text{ y } l = \frac{s}{R} - 2h\sqrt{2} \;(109); \text{ que,}$$

haciendo todas las operaciones, se convierten por último en

$$h = \frac{s \pm \sqrt{s(s - 7{,}313704R^2)}}{3{,}656852R} \;(110), \text{ y } l = \frac{s}{R} - 2{,}828426 \times h \;(111);$$

que suministran la siguiente regla: *para encontrar la altura del trapecio, cuando se conoce la superficie de la seccion y el radio medio, siendo el talud de uno de base por uno de altura, se restará de la superficie dada, el producto del número* 7,313704 *por el cuadrado del radio medio; lo que resulte se multiplicará por la misma superficie, y del producto se estraerá la raiz cuadrada; esta raiz se sumará con la misma superficie; y la suma se dividirá por el producto del número* 3,656852 *por el radio medio; lo que dará uno de los valores que pueden tener la altura del trapecio.* Para encontrar el otro, *se restará de la misma superficie, el valor de la citada raiz cuadrada; y lo que resulte se dividirá por el producto de* 3,656852 *por el radio medio.*

Para encontrar los dos valores del lado inferior del trapecio, que es el que forma la interseccion con la solera, *del cociente de dividir la superficie por el radio medio, se restará el producto de* 2,828426 *por cada uno de los dos valores hallados para la altura.*

Ej. 1.° Si hacemos aplicacion á la cuestion del (§ 170), nos resultarán, practicando la regla anterior, para h los dos valores siguien-

tes: 10,736 y 2,292 *; y los valores de l resultan ser $l=-6,544$, y el otro valor es $l=17,339$.

Desechando la resolucion negativa, que nada nos dice en este caso, resulta que los valores que satisfacen á la cuestion son $l=17,339$ y $h=2,292$.

175 Deduzcamos las fórmulas y regla para cuando el talud tiene 4 de base por 3 de altura; en este caso, no tenemos que hacer mas que sustituir por n en las (ecs. 106 y 107) el número $\frac{4}{3}$; lo cual nos dará, despues de hechas todas las simplificaciones,

$$h=\frac{s\pm\sqrt{s(s-8R^2)}}{4R}\ (112),\ \text{y}\ l=\frac{s}{R}-\frac{10}{3}h\ (113);$$ que suministran la siguiente regla: *para encontrar la altura del trapecio, conocida que sea la superficie de la seccion y el radio medio, se restará de la espresada superficie, el óctuplo del cuadrado del radio medio; lo que resulte, se multiplicará por la misma superficie; del producto se estraerá la raiz cuadrada; esta raiz se sumará con la mencionada superficie; y dividiendo esto por el cuádruplo del radio medio, se tendrá la altura del trapecio en una de las dos soluciones.* Para encontrar la altura correspondiente á la otra solucion, *se restará de la misma superficie la espresada raiz cuadrada; y lo que resulte se dividirá por el cuádruplo del radio medio.*

Para encontrar los dos valores del lado horizontal del trapecio, *del cociente de dividir la superficie por el radio medio, se restarán los dos tercios de cada una de las alturas encontradas.*

Ej. Si queremos hallar las dimensiones del trapecio de la misma cuestion del (§ 170), obtendrémos que una de las resoluciones será aquella en que la altura sea 9,792 y el lado horizontal $-8,818$; pero como una de estas dimensiones es negativa, aquí no conduce para nada. La otra resolucion es que la altura sea de 2,119 y que el lado horizontal sea de 16,759.

* Si hiciéramos aplicacion á la cuestion de la nota del (§ 170), hallaríamos para h los dos valores siguientes:

$$h=\frac{15\pm\sqrt{15(15-7,313704\times268,6321}}{3,656852\times16,39};$$

Y como son imaginarios, pues que la parte negativa que hay debajo del radical es mayor que la positiva, resulta ser imposible que los datos puestos en dicha nota satisfagan á ninguna cuestion. Lo cual confirma lo que hemos dicho en la espresada nota sobre la exactitud de los procedimientos matemáticos.

176 Para hacer aplicacion al caso en que á 1 de altura corresponde $1\frac{1}{2}$ de base, no tenemos mas que sustituir en las (ecs. 106 y 107) por n el número $\frac{3}{2}=1,5$; lo que nos dará, despues de todas las operaciones, $h=\frac{s\pm\sqrt{s(s-8,4224R^2)}}{4,2112R}$ (114), $l=\frac{s}{R}-3,6056h$ (115); que nos suministran la siguiente regla: *para encontrar la altura del trapecio, dada que sea la superficie y el radio medio, se restará de la espresada superficie, el producto de* 8,4224 *por el cuadrado del radio medio; esto se multiplicará por la espresada superficie; del producto, se estraerá la raiz cuadrada; esta raiz se sumará con la misma superficie, y la suma se dividirá por el producto de* 4,2112 *por el radio medio*; con lo cual se tendrá la altura correspondiente á una de las soluciones. Para encontrar la otra, *se restará de la misma superficie, la mencionada raiz cuadrada; y lo que resulte, se partirá por el producto de* 4,2112 *por el radio medio.*

Para encontrar los dos valores del lado horizontal, *del cociente de dividir la superficie por el radio medio, se restará el producto de* 3,6056 *por cada uno de los valores hallados para la altura del trapecio.*

Ej. Haciendo aplicacion á esta hipótesis de talud, en la misma cuestion del (§ 170), hallarémos que las dimensiones del trapecio son, en una de las resoluciones, que la altura sea 8,91 y el lado horizontal −8,304; pero como una de estas dimensiones es negativa no conduce aquí para nada. La otra resolucion es que la altura sea de 2,39 y que el lado horizontal sea de 15,205 *.

177 Determinemos por último las fórmulas y regla, para cuando *al talud corresponden dos de base por uno de altura.* En este caso, no hay mas que sustituir 2 en vez de n en las (ecs. 106 y 107); y despues de todas las simplificaciones, resultan por último $h=\frac{s\pm\sqrt{s(s-9,8885R^2)}}{4,9442R}$ (116), $l=\frac{s}{R}-4,4721h$ (117); las cuales suministran la siguiente regla: *para encontrar la altura del trapecio, cuando se conocen la superficie y el radio medio, se restará de la mencionada superficie el producto de* 9,8885 *por el cuadrado del radio medio; lo que resulte se multiplicará por la misma superficie; del producto se estraerá la raiz cuadrada; esta*

* Tambien nos resultarían imaginarios los valores, haciendo aplicacion á la cuestion de la nota del (§ 170).

se sumará con la misma superficie, y lo que se obtenga, se dividirá por el producto de 4,9442 *por el radio medio*; con lo que se tendrá uno de los valores de la altura. Para encontrar el otro, *se restará de la misma superficie, la raiz cuadrada obtenida; y lo que resulte, se dividirá por el producto de* 4,9442 *por el radio medio.*

Para encontrar los dos valores del lado horizontal, *del cociente de dividir la superficie por el radio medio, se restará el producto de* 4,4721 *por cada uno de los valores de la altura.*

Ej. Haciendo aplicacion de este caso á la misma cuestion del (§ 170), hallamos que las dimensiones del trapecio son: en una solucion, cuando la altura sea de 7,06 y el lado horizontal de −7,351; la cual no nos hace al caso; y cuando la altura sea de 2,58 y el lado horizontal de 12,284 *.

178 En la (ec. 101) la verdadera incógnita es el perímetro mojado; pues siendo $R=\frac{s}{p}$, la espresada ecuacion da

$$p=\frac{g\times I\times s^2}{Q\left(0{,}00033700636+0{,}00330977729\frac{Q}{s}\right)}\ (118);$$

la cual nos suministra la siguiente regla: *para encontrar el perímetro mojado, conocida la gravedad, el declive, el gasto y la superficie de la seccion, se multiplicará la gravedad por el declive y por el cuadrado de la superficie de la seccion; y lo que resulte, se dividirá por el producto del gasto por la suma del número* 0,00033700636, *con el producto de* 0,00330977729 *por el cociente de dividir el gasto por la superficie de la seccion.*

Ej. Supongamos que se necesite construir en Valencia un canal que conduzca 90 pies cúbicos de agua por segundo, siendo la superficie de la seccion 60 pies cuadrados, con un declive de $\frac{1}{7000}$; y que se trate de saber cual debe ser el perímetro mojado.

Practicando la regla, encontrarémos por último resultado 37,825 pies.

179 Cuando se trata de un canal de navegacion con declive, la figura y la magnitud de la seccion s deben fijarse *en virtud de las dimensiones y de lo que calen los barcos*; entónces el radio medio

* Las mismas fórmulas, aplicadas á la cuestion de la nota del (§ 170), nos darían valores imaginarios.

y la superficie de la seccion, son cantidades que se nos dan conocidas; y se trata de obtener una cantidad Q de agua, que corra con un declive I, tal que los valores de Q y de I satisfagan á la (ec. 97). Lo cual suministra un medio seguro y simple: 1.° para verificar la posibilidad del proyecto y reconocer si la seccion, de que se tiene necesidad, es compatible con la cantidad de agua disponible y con la inclinacion que se puede dar al canal; 2.° en el caso de que, bajo este aspecto, las condiciones pedidas estuviesen satisfechas, combinar entre sí los diversos elementos del proyecto de la manera mas ventajosa.

180 Todo lo dicho hasta aquí, relativo al movimiento de las aguas, supone que las paredes de los lechos guardan una cierta regularidad; pero si estas paredes estuviesen cubiertas de plantas acuáticas, la resistencia aumenta sensiblemente; y este efecto tiene aun lugar si hay un cierto número de bateles estacionarios en el canal. Se atenderá á este aumento de resistencia, *multiplicando, en las ecuaciones anteriores, el perímetro mojado por un coeficiente mayor que la unidad, que esprese esta resistencia, y que se deberá determinar por consideraciones particulares relativas á las circunstancias locales. Mr. Girard* es el primero que ha tenido la feliz idéa de emplear este coeficiente de correccion, considerándole como un multiplicador del perímetro mojado, y ha obtenido, respecto del canal del *Ourcq*, que dicho coeficiente estaba representado por 1,7. Hacemos todas estas advertencias para que se tengan en consideracion en los diversos casos que puedan ocurrir.

181 Cuando hay que hacer aplicacion al movimiento del agua en los canales descubiertos de inclinacion variable, se considera la longitud total dividida en muchas inclinaciones parciales de una cierta longitud, que se puedan considerar como uniformes; en cuyo caso, resulta que cada una de estas corrientes se podrá someter á las diversas reglas de cálculo que hemos establecido.

182 Si las mudanzas de inclinacion ó declive estuviesen sujetas á la ley de continuidad, como sucede en los rios, que todos ellos tienen mayor pendiente, á proporcion que se acercan á su orígen, el eje ó *línea directiva* vendrá á ser una curva, cuyas coordenadas ha determinado *Mr. Girard* para el Canal del *Ourcq*; sobre lo que no nos detendrémos, por exceder al objeto que nos hemos propuesto, á causa de que la práctica no sacaría gran partido de investigaciones tan complicadas, en atencion á que las variaciones que esto puede producir no tienen influjo sensible en la mayor parte de los casos que ocurren.

183 Como la evaporacion, las filtraciones y los usos á que el canal está destinado pueden originar gastos locales de agua, como son, el proporcionar regadío, ó abastecer de agua al vecindario de los pueblos, ó á los establecimientos industriales, si el agua no se reemplaza por la de algunos arroyos, fuentes &c. ocasionará necesariamente desigualdades en los productos de cada seccion; por lo cual en casos de esta naturaleza se deberá considerar la diminucion de agua indicada para arreglar á ella las dimensiones del canal.

184 Tambien se debe tener presente en los proyectos de los canales, ó corrientes de agua, que su curso debe ser engruesado muchas veces por aguas afluentes de arroyos, manantiales &c.; y que tambien se puede reunir esta circunstancia con la de tener que surtir á otros canales de derivacion.

En este caso, se deben determinar las dimensiones del canal con presencia de todas las circunstancias locales; á cuyo efecto será preciso calcular el aumento ó diminucion que puedan tener las aguas por todas estas causas y arreglar las dimensiones de cada trozo segun las cantidades de agua que por él deban pasar.

185 Tampoco se debe dejar de considerar el tiempo de la escasez ó abundancia de agua que suministran las fuentes, los arroyos y los rios en las diversas estaciones del año; pues todas estas variaciones deben tenerse presentes para combinar los principios generales que se han establecido, con la multitud de circunstancias accidentales que sobrevienen, y acerca de las cuales no se puede dar *à priori* ninguna regla segura.

186 En todo lo que acabamos de manifestar, hemos conservado indeterminada la fuerza de la gravedad para que se pueda aplicar á cualquier punto del Globo; pero deseando no omitir ninguna diligencia que pueda contribuir á que esta obra proporcione mayores ventajas, vamos ahora á contraernos á la localidad de Madrid, introduciendo la fuerza de la gravedad y resolviendo los problemas prácticos que pueden ocurrir. Y como segun hemos manifestado (29) se puede tomar la posicion de Madrid como una situacion media entre todas las situaciones *físico-geográficas* de nuestra Península, la trasformacion, que vamos á dar, podrá servir sin error sensible en la mayor parte de las espresadas localidades.

Para esto, no tenemos mas que dividir por el valor de g en Madrid, que es 35,0961 pies españoles, los dos números constantes del segundo miembro de la (ec. 90) y suprimir la g en el primero: lo que nos dará $RI = 0{,}0000960239v + 0{,}0000943061 3v^2$ (119).

Esta ecuacion contiene para Madrid y para todos los parages que puedan reconocer la posicion de dicha capital como situacion media, la relacion entre la velocidad media de una corriente, el declive de su lecho, y el radio medio de su seccion perpendicular.

187 Si en esta ecuacion despejamos la I, nos resultará

$$I=\frac{0{,}0000096023\,9v+0{,}0000943061\,3v^2}{R}.(120).$$

Esta ecuacion, traducida en regla dice, que *para encontrar el declive que se debe dar á una corriente de agua, cuando se conoce la velocidad media, y el radio medio, se multiplicará del cuadrado de dicha velocidad media por el número constante* 0,0000943061 3; *el número que resulte, se sumará con el producto de la velocidad media, por* 0,0000096023 9, *y esta suma se dividirá por el radio medio.*

Ej. Hagamos aplicacion de esta fórmula para encontrar el declive ó inclinacion del *Jarama* en el parage citado (§ 64 libro 2°). Para esto, no tenemos mas que sustituir en ella, en vez de v, la velocidad media que hemos hallado (142), á saber 3,875 pies; y en vez de R el valor del radio medio, que hemos encontrado (66) ser 1,467 pies; cuya operacion, practicando la regla anterior, ejecutaré de este modo; multiplico el número 0,0000096023 9 por la velocidad media 3,875 pies y saco el producto 0,00003720926. Cuadro la velocidad media 3,875 (V. § 227 de Ar. de N.) y obtengo 15,01562; esto lo multiplico por el número 0,0000943061 3 y me resulta 0,00141606548. Sumaré este número con el anterior 0,00003720926, y obtengo la suma 0,00145327474; que dividida por el valor 1,467 del radio medio, resulta por último 0,00099 para el declive ó pendiente, que viene á ser $\frac{1}{1000}$.

Ahora bien, por el resultado de mi nivelacion (V. pág. 449 del Mercurio de septiembre de 1824), se ve que si el Jarama siguiese su curso en línea recta desde su confluencia con el Lozoya hasta el puente de Uceda, entre cuyos puntos está el parage de la velocidad media, que hemos determinado (142), el declive hubiera sido $\frac{1}{242{,}2}$; y como este número viene á ser unas cuatro veces mayor que el $\frac{1}{1000}$, que es el declive que acabamos de encontrar, nos quiere decir esto, que los recodos y tortuosidades del mismo rio entre dicho punto, y

el pasar por matorrales en algunos parages vienen á equivaler á lo mismo que si el curso del rio fuese cuatro veces mayor y conservase la misma regularidad que en el parage donde medimos su velocidad.

188 Si quisiéramos encontrar la velocidad media, conociendo el declive y el radio medio, despejaríamos la v en la (ec. 119), y obtendríamos

$$v = -0{,}0509107 + \sqrt{0{,}002591899 + 10603{,}376457 \times R \times I} \quad (121);$$

la cual nos suministra la regla siguiente: *para encontrar la velocidad media, conocido que sea el declive y el radio medio, se multiplicará el número* 10603,376457 *por el radio medio y por el declive; á lo que resulte, se le añadirá el número* 0,002591899; *y de la suma se estraerá la raiz cuadrada; de esta, se restará el número* 0,0509107; con lo que se tendrá la velocidad media que se buscaba.

Ej. Propongámonos determinar la velocidad que hubiéramos hallado en el rio *Jarama*, si desde su confluencia con el Lozoya hasta el puente de Uceda, hubiese continuado en línea recta, con todas las demas circunstancias iguales á las del parage en que yo medí la velocidad; y como entónces se debería suponer el declive de $\frac{1}{242{,}2}$; calculemos la velocidad media que á este declive corresponde.

Siguiendo la regla anterior, multiplicarémos 10603,376457 por el radio medio, que es 1,467, y obtengo 15555,153262419; esto lo multiplicaré por el declive $\frac{1}{242{,}2}$; lo que está reducido á dividirle por 242,2, y me resulta 64,224414791; á lo cual añadiré 0,002591899; y de la suma estraeré la raiz cuadrada, que es 8,01417; de la cual deberé restar 0,0509107; y saco por último resultado para la velocidad media 7,9633; que solo se viene á diferenciar en *una décima* del duplo de la velocidad media efectiva; y como las velocidades medias deben seguir aproximadamente (nota del § 158) la razon de las raices cuadradas de los declives, hallamos una conformidad tan estraordinaria, que acaso podría parecer increible, si no se tuviese la suficiente seguridad en los datos. En efecto, la razon de las raices cuadradas de los declives es 2,0319; y la razon de las velocidades es 2,0550, y la diferencia en las dos relaciones es solo 0,0231, que no equivale á $\frac{1}{88}$ de la razon de las veloci-

dades; cuya aproximacion nos garantiza de que *las fórmulas de Mr. Eytelwein y de Mr. Prony son bastante exactas, y de que las trasformaciones que les hemos dado, hasta deducir la que conviene á la localidad de Madrid, son las mas adecuadas*; pues que nos suministran resultados de una exactitud, á la verdad muy sorprendente.

189 Por las razones dadas (159), no podrémos hallar el valor de R solo por el conocimiento de la velocidad media y declive; y así, aunque si despejáramos la R en la (ec. 119), obtendríamos otra que se debería verificar entre los valores de I, R y v, no obstante, no se pueden suponer valores arbitrarios á v y á I; por lo que debemos introducir aquí el gasto, así como lo hemos hecho en la (ec. 90).

Sustituyendo pues en la (ec. 119) en vez de v su valor $\frac{Q}{s}$, y por R el suyo $\frac{s}{p}$, se nos convertirá en

$I\times\frac{s}{p}=0,0000096023 9.\frac{Q}{s}+0,0000943061 3\frac{Q^2}{s^2}$ (122); y quitando los divisores se tendrá

$I\times s^3=p(0,0000096023 9.Q.s+0,0000943061 3.Q^2)$ (123); en la cual despejando p, que es el perímetro mojado, resultará

$p=\frac{I\times s^3}{0,0000096023 9\times Q\times s+0,0000943061 3Q^2}$ (124); la cual nos suministra la siguiente regla: *para encontrar el perímetro mojado, cuando se tiene fijo de antemano el declive, la superficie de la seccion y la cantidad de agua, que ha de pasar por ella, se multiplicará el declive por el cubo de la superficie de la seccion; y lo que resulte, se dividirá por la suma del producto del número* 0,0000096023 9 *multiplicado por el gasto de agua, y por la superficie de la seccion con el producto de* 0,0000943061 3 *por el cuadrado del gasto.*

Al hacer aplicacion de esta fórmula, se deberán tener presentes las consideraciones hechas (160), á fin de fijar los valores de Q y de s, de modo que no estén en contradiccion con el declive ó pendiente.

190 Si en la (ec. 123), despejamos la I, tendrémos

$I=\frac{p}{s^3}(0,0000096023 9\times Q\times s+0,0000943061 3.Q^2)$ (125); la cual

nos sirve para cuando en Madrid y demas localidades, que no difieran mucho de esta capital en latitud y altura sobre el nivel del mar, se quiera determinar el declive que se debe dar á una corriente para hacer pasar una cantidad de agua dada, por una seccion cuya magnitud y perímetro mojado se dan tambien conocidos; la cual traducida en regla nos dice: que *para encontrar el declive, dada la superficie de la seccion, su perímetro mojado y la cantidad de agua que debe pasar por ella en un segundo, se multiplique el cociente de dividir el perímetro mojado por el cubo de la superficie de la seccion, por la suma del producto de* 0,0000960239 *multiplicado por el gasto de agua y por la superficie de la seccion, con el producto de* 0,0009430613 *por el cuadrado del gasto de agua;* con lo que se tendrá el declive que se ha de dar al canal.

Ej. Supongamos que se necesite determinar el declive, que se debería dar á un canal, para que condujese las aguas del *Jarama*, reunidas ya con el Lozoya, que en el parage citado (§ 66 libr. 2.º) son 9514,59 pies cúbicos por minuto (V. pág. 603 del Mercurio de noviembre de 1824) que hacen 158,5765 pies cúbicos por segundo; y supongamos tambien que circunstancias particulares hayan obligado á dar á la seccion 162 pies de superficie; que la seccion sea un trapecio en que las paredes ó lados tengan un talud de 4 de base por 3 de altura. En este caso, corresponde que el lado BE (fig. 5) sea de 6 pies *; lo que hará en virtud de lo expuesto (§ 61 L. 2.º) que la altura $BL=\frac{3}{2}.6=9$ pies; $AB=\frac{5}{2}BE=\frac{5}{2}.6=15$; $EC=15$; luego el perímetro mojado será $15+6+15=36$ pies.

Por lo que, siguiendo la regla, dividiré el perímetro mojado, que es 36, por el cubo de 162, que es 4251528; y hallo que el cociente, despues de simplificado (V. § 133 de Ar. de N.) es $\frac{1}{118098}$. Multiplico 0,0000960239 por el gasto 158,5765; y lo que me

* En efecto, por el principio de la nota del párrafo 172 de este libro, se tiene $s=AH.\frac{BE+AC}{2}$; pero $AH=BL$ por lados opuestos de paralelogramo; y como en virtud de lo espuesto (§ 61 L. 2.º) $BL=\frac{3}{2}BE$ y $AC=5BE$, haciendo estas sustituciones en la ecuacion anterior y poniendo 162 por s, nos resultará $162=\frac{3}{2}BE.\frac{BE+5BE}{2}=\frac{3}{2}BE.\frac{6BE}{2}=\frac{3}{2}BE.3BE=\frac{9}{2}BF^2$, que da $BE^2=162.\frac{2}{9}=\frac{324}{9}=36$; y estrayendo la raiz cuadrada, se tiene por último $BE=6$.

resulte por 162, y obtengo 0,24667957. Con esto, debo sumar el producto de 0,0000943o613 por 25146,50635225 cuadrado del gasto, que es 2,3714697, y saco por suma 2,6181492679.

Multiplicando esto por $\frac{1}{118098}$, saco que el declive debe ser $\frac{2,6181492679}{118098}$; que, simplificando el quebrado, dividiendo los dos términos por el numerador, resulta $\frac{1}{45107}$; esto es, un pie de desnivel en cada distancia de 45107 pies.

191 Supongamos que la seccion debiese tener la figura rectangular, y que ademas se añada la circunstancia de que el radio medio sea 4,5 pies.

En este caso, para determinar el lado horizontal, practicarémos la regla establecida (171) de este modo.

Siendo 4,5 el radio medio, su cuadrado será 20,25, que multiplicándole por 8, se tiene 162; y restado este número, de la superficie de la seccion, que es tambien 162, tenemos *cero*, que multiplicando por 162 resulta *cero*; y estrayendo la raiz cuadrada tambien será *cero*; este valor *cero*, sumado ó restado con la superficie de la seccion 162, da el mismo 162, que dividido por el duplo del radio medio, que es 9, resulta 18 para el lado horizontal; y como dividiendo la superficie 162 por el lado horizontal 18, resulta 9, tenemos que las dimensiones del rectángulo serán 18 pies el lado horizontal y 9 el vertical, que reune la circunstancia de suministrar la forma que hemos dicho (§ 60 libr. 2.°) concilia el mayor número de ventajas.

Aquí solo se obtiene una resolucion, por haber resultado el óctuplo del cuadrado del radio medio igual con la superficie propuesta. Con el objeto de presentar un ejemplo que suministre las dos resoluciones que da la regla (171), supongamos que el valor del radio medio sea 4,3 pies solamente. En este caso, resulta, que su cuadrado es 18,49 y su óctuplo 147,92; que restado de 162, da 14,08; multiplicando 14,08 por 162, se tiene 2280,96; cuya raiz cuadrada es 47,76; la cual sumada con 162, da 209,76; que dividiendo por 8,6, duplo del radio medio, se obtiene 24,39 para uno de los valores que puede tener el lado horizontal. El otro valor lo hallarémos restando 47,76 de 162, lo que da 114,24, que dividido por 8,6 resulta 13,28, que será el lado horizontal correspondiente á la otra resolucion.

Para encontrar la altura de la seccion, ó el lado vertical, di-

vidirémos, segun previene la misma regla, la superficie 162 de la seccion por cada uno de los valores horizontales hallados, y nos resultará 6,64 de dividir 162 por 24,39; y dividiendo 162 por el otro valor 13,28, se obtiene 12,20.

Luego las dos resoluciones son una en que el lado horizontal del rectángulo sea 24,39 y el lado vertical ó altura 6,64; y la otra en que el lado horizontal sea 13,28 y el vertical 12,20 pies.

La seccion correspondiente á la primera resolucion, está representada en la (fig. 36 lám. 3) y la segunda en la (fig. 37).

El determinar cual de estas dos figuras conviene mas, es una de las circunstancias que exigen mucha atencion por parte del hidráulico. Y para presentar un ejemplo del caso en que cada una de estas deba ser preferida, supongamos que el parage, por donde haya de pasar el canal, presente las desigualdades que se advierten en la línea *ABCDE* (fig. 38). Si el corte dado al terreno por *BH*, lo figuramos en *MBP* (fig. 39), observarémos que para la primera resolucion, deberémos escavar solo la parte *lkst*; y no bastándonos el alto de las *lk*,*st* para dar toda la altura conveniente, deberíamos formar terraplenes ó levantar paredes de mampostería ó albañilería; y debiendo estos ser mucho mayores si se adoptase el perfil de la (fig. 37) resulta, que en el parage *BH* (fig. 38), cuya seccion está representada por la (fig. 39) es mas ventajosa la primera resolucion que la segunda.

Pero si suponemos que en el parage cortado por *DL*, la seccion del terreno sea la *QDT* (fig. 40), en este caso, empleando la primera resolucion, tendrémos que escavar toda la parte *mnpq*; y empleando la segunda, tendríamos que escavar solo la porcion *rszx*; y como esta es mucho menor que la primera, resulta que en este caso el gasto de emplear la segunda será considerablemente menor que el de emplear la primera.

Si entre el corte *BH* y el *DL* hubiera, como representa la misma (fig. 38), el corte *CK*, entónces, ya por la economía y ya tambien para evitar el tránsito repentino de las dimensiones, se elegiría una seccion intermedia como la *fgih* (fig. 41).

En el caso de que por las circunstancias locales sea ménos costoso el taladrar el terreno, que el abrirlo por la parte superior, ó costear la altura, cuando no hay ningnna circunstancia particular que obligue á elegir la resolucion que da mas ancho en el lado horizontal, es preferible generalmente la resolucion de la (fig. 37); á causa de que, aun prescindiendo de que son menores los gastos de es-

cavacion, se necesita menor esfuerzo para sostener el empuje de las tierras adoptando la (fig. 37) para la seccion, que adoptando la (fig. 36); pues hay que sostener mucha ménos cantidad de ellas.

Si hubiéramos supuesto que el radio medio era mayor que 4,5, las dos resoluciones que se obtendrían serían imaginarias; lo cual nos advertía el que habíamos hecho un supuesto imposible ó contrario á la cuestion. En efecto, si hubiéramos supuesto que el radio medio era 5 pies, su cuadrado era 25, y su óctuplo 200, que siendo mayor que 162, resultaba debajo del radical una cantidad negativa, la cual no pudiendo representar ningun cuadrado, no se puede estraer de ella la raiz cuadrada: y nos advierte que es un absurdo el suponer posible la existencia de los datos espresados.

192 Aunque en esta obra no podemos descender á todos los detalles de construccion, no obstante tambien observarémos que hay casos en que, sin embargo de que deba permanecer el canal subterráneo, sea preferible el hacer toda la escavacion por la parte superior y despues hacer la bóveda, y cubrir esta con tierra. De esto se halla un ejemplo en un corte que á unas dos leguas de París se ha hecho en una colina, para evitar un recodo de unas tres leguas en el rio *Marne* y aprovechar de este modo una caida de agua en la localidad de *Saint Maur* equivalente al esfuerzo de unos doscientos caballos.

Aquí hemos supuesto que había alguna circunstancia particular que nos obligase á fijar de antemano el radio medio; pero cuando en general no la hay, lo que se debe practicar es descomponer la superficie de la seccion en dos factores, que, dando el mismo producto, concilien mejor todas las circunstancias. Aquí, en números enteros, podrían ser 6 y 27; 2 y 81; 9 y 18; 3 y 54; y en números que se compusiesen de enteros y quebrados, se podrían obtener una inmensidad de ellos, eligiendo arbitrariamente uno, como por ejemplo 8,5; se obtendría el otro dividiendo 162 por 8,5; lo que daría 19,058; y así el hidráulico examinará cual es la resolucion que mas bien concilia todas las circunstancias con la de poderse ejecutar con ménos gasto. De todo lo cual se deduce que *son varias las ocasiones en que podrá convenir que la seccion sea variable para poderse obtener con ménos gastos*; pero en este caso se deberá tener presente que cuando las circunstancias locales obliguen á construir un trozo mas angosto que otro, es necesario atender á los fenómenos de la contraccion.

CAPÍTULO IX.

Manifestacion de los métodos que se pueden emplear para encontrar la superficie de la seccion de una corriente de agua, y la cantidad de líquido que pasa por ella en un tiempo dado. Resultado de los últimos esperimentos hechos en Italia sobre este particular en los grandes rios; y consecuencias generales que de ellos resultan comparados con las fórmulas establecidas.

193 Cuando el manantial, fuente, arroyo, rio &c. suministra solo una cantidad de agua muy pequeña, lo mas simple y al mismo tiempo lo mas seguro para determinarla, es recibir el líquido en vasijas cuya capacidad sea conocida, y averiguar cuántas de estas vasijas se llenan en un tiempo determinado. En virtud de este conocimiento, se deduce luego el volúmen de agua en un minuto, en una hora, en un dia &c. ó si se quiere determinar lo que se llama la *masa* ó el *peso* del agua, despues de hallado el volúmen, se determina su peso en virtud de lo espuesto (§ 241 de la Mec. Práct.).

194 Cuando es ya de alguna consideracion la cantidad de agua, que se trata de medir, y que por lo mismo no hay vasijas de tamaño suficiente para contenerla, entónces se ve si se puede dirigir á un estanque ó depósito, cuya capacidad sepamos; y averiguando en cuanto tiempo le llena el agua en su totalidad ó hasta una parte conocida, queda calculada la cantidad de líquido que pasa en un tiempo determinado.

195 Mas si la cantidad de agua del manantial, fuente, rio, arroyo &c. fuese tal que escediese á la que podría contenerse en las vasijas ó depósitos que pueda uno proporcionarse, entónces se necesita recurrir á otros procedimientos científicos, que el ingenio del hombre ha discurrido, y que dan á conocer el triunfo de su sagacidad.

196 Si la corriente se puede atajar con facilidad, y hacer que toda su agua vaya á salir como de un depósito por una abertura regular ó por una cascada &c., entónces se determina las cantidad de líquido que sale, por las fórmulas de los capítulos anteriores segun sea la fórma del desagüe. Pero si las circunstancias no permitiesen practicar este medio, ya por ser escesiva la cantidad de agua, como acontece en los rios caudalosos, ya por otras causas, entónces es absolutamente necesario recurrir á otros arbitrios.

197 Si todos los filetes fluidos caminasen con igual velocidad, la cuestion quedaba resuelta solo con determinar la seccion que ocupa

el agua en direccion perpendicular á la corriente, y la velocidad con que se mueve; pues en este caso, multiplicando la superficie de dicha seccion por la velocidad en un segundo, se tendrá el volúmen de agua que pasa en el mencionado tiempo. Mas como cada filete fluido de una corriente de agua camina con velocidad diferente, segun hemos espresado (§ 54 libro 2.º resultado 5.º), no quedan mas que dos arbitrios para conseguir el objeto de tan interesante, como difícil investigacion. El que reune la circunstancia de ser mas sencillo y al mismo tiempo mas exacto, es el determinar la superficie de la seccion, que ocupa el agua en la corriente, y la velocidad media; multiplicar la una por la otra, y el producto de estas dos cantidades representará la cantidad de agua, ó lo que tantas veces hemos repetido que se llama *el gasto.*

198 Para determinar la superficie que ocupa la seccion del agua en la corriente, hay procedimientos geométricos, que pueden conducir al verdadero resultado, con la aproximacion que se apetezca.

199 Mas, *para determinar la velocidad media*, ha sido preciso el concurso de los cálculos mas sublimes con los resultados esperimentales mas selectos; y por fortuna en el dia se tiene ya vencida la dificultad de un modo bastante satisfactorio: puesto que se reduce ó á encontrar la velocidad en la superficie por el procedimiento indicado (§§ 64 y 65 del libro 2º) y á determinar en virtud de dicho conocimiento la velocidad media, por la fórmula (78), segun lo hemos verificado (§ 149) respecto del Jarama y del Guadalix; ó á determinar dicha velocidad media por la fórmula (93), cuando se conozca la gravedad, el declive, y el radio medio.

200 El otro arbitrio que nos queda es determinar directamente la velocidad efectiva en diversas partes ó parages de la seccion que se aproximen mucho entre sí, multiplicarla por la superficie de la seccion del filete á que pueda corresponder la espresada velocidad; y adicionando despues los resultados de todos los filetes, se obtiene la suma total de la cantidad de agua en toda la corriente.

201 Las investigaciones, hechas sobre esta materia, dan á conocer del modo mas admirable hasta qué punto puede llegar la sagacidad humana, cuando es conducida por la antorcha luminosa de los principios *físico-matemáticos*; puesto que este medio, aplicado á los grandes rios, ha servido y puede servir no solo para determinar la cantidad de agua que llevan, sinó para comprobar el grado de exactitud á que puedan conducir las mencionadas fórmulas (78 y 93), ó las análogas de los demas Autores. Como este punto es acaso

el de mayor importancia, puesto que en él estriba casi esclusivamente el fundamento de todos los conocimientos del movimiento de las aguas, que hemos comprendido bajo la denominacion de *correr á cielo descubierto*, vamos á poner cuanto en nuestro concepto se necesita saber acerca de tan importante materia, que comprenderémos en las tres secciones siguientes.

1.ª *Procedimientos que yo empleé para encontrar la superficie de la seccion del Jarama el 31 de julio de 1819, y deducir su cantidad de agua.*

2.ª *Procedimientos que se han seguido en Italia, para determinar la cantidad de agua en los rios Po y Tíber, verificados casi al mismo tiempo que yo hice la operacion en el Jarama y Guadalix.*

3.ª *Consecuencias que se deducen de estas últimas mediciones para examinar hasta qué punto son exactas las fórmulas de Mr. Eytelwein, de Mr. Prony y la mia.*

SECCION PRIMERA.

Procedimientos que yo empleé para encontrar la superficie de la seccion del Jarama el 31 de julio de 1819 y deducir su cantidad de agua.

202 Yo llevaba una cuerda preparada, de modo que en cada pie de distancia tenía fija una cintita, y aseguré la espresada cuerda bien tirante en dos estacas que se fijaron en las orillas del rio, de modo que la direccion de la corriente fuese perpendicular á la cuerda, segun se ve en la línea $m\ n$ (fig. 6): á la distancia de un pie de la orilla, colocamos un jalon; y habiendo medido la distancia que había entre el lecho y la superficie superior del agua, encontramos 0,213 de pie español, habiendo ejecutado lo mismo á cada pie de distancia; mas aquí solo pondrémos los resultados de tres en tres pies para que la figura no resulte confusa, y fueron los siguientes: á la distancia de 3 pies, hallamos que la profundidad de agua era de 0,381 id; á la de 6 pies 1,75 id; á la de 9 pies 2,09 id; á la de 12 pies 2,231 id; á la de 15 pies 2,256 id; á la de 18 pies 1,728 id; á la de 21 pies 1,547 id; á la de 24 pies 1,03 id; siendo de 27 pies el ancho total del rio en aquel parage.

203 Con estos datos, se tomaron despues por abscisas las distancias medidas en la cuerda, y por ordenadas las distancias medidas en la parte del jalon comprendida entre el lecho del rio y la superficie del agua; y en virtud de lo espuesto (§ 231 II T.E.), se

trazó por puntos la curva que forma la seccion del lecho del rio, que es la representada en dicha figura 6. Despues se halló la superficie de la seccion que ocupa el agua por el procedimiento espuesto (§ 518 esc. 4.º I T.E.), á saber: considerando los dos espacios estremos como triángulos rectilíneos, y todos los demas como trapecios; y ejecutando el cálculo *, hallé que la seccion del *Jarama* era de 40,923 pies cuadrados; y como la velocidad media encontrada (§149 ej. 1.º) por segundo, era de 3,874998 pies, resulta que multiplicando 40,923 por 3,874998, se halla que en un segundo pasaban 158,576543 pies cúbicos de agua; en un minuto 9514,5926 pies cúbicos, y en una hora 570875,556; y como la unidad de medida, que en Madrid se denomina *real de agua* suministra 11,167556 pies cúbicos por hora, segun lo espuesto (pág. 496 del Mercurio de octubre de 1824), resulta que la cantidad de aguas que llevaba el Jarama el dia 31 de julio de 1819, que fué cuando yo la medí, era de 51119 reales de agua, que es el mismo resultado inserto en la pág. 603 del Mercurio de noviembre de 1824.

204 Por el mismo procedimiento determiné lo relativo al Guadalix, cuya seccion está representada (fig. 7), y al canal de Manzanares en el segundo trozo, á la distancia de 450 pies de un recodo que hay al bajar, y se inclina un poco hácia la izquierda, cuya seccion está representada en la (fig. 8).

SECCION SEGUNDA.

Procedimientos que se han seguido en Italia para determinar la seccion y cantidad de agua en los rios Po y Tiber, verificados casi al mismo tiempo que yo hice la operacion en el Jarama y Guadalix.

205 En la obra intitulada *Ricerche geometriche ed idrometriche fatte nella scuola de gl' ingegneri pontifici d' acque e strade l'anno* 1820, impresa en Roma, se pone á la pág. 11 lo que sigue.

"*Relieve y esperimentos hechos en el Po grande por los Profesores y Alumnos de la escuela de Ferrara.*

»Los esperimentos y cálculos que vamos á esponer se han practicado:

---

* Repito que calculé los trapecios y triángulos de pie en pie; y por consiguiente, para ejecutar la operacion con mas exactitud, cada uno de los espacios que se ven en la figura, los calculé por tres espacios intermedios, á fin de que la suposicion de ser rectilíneos les conviniese mejor.

1.º »Con el objeto de presentar datos á propósito para conocer la masa total del agua del Pó en un lugar determinado y á una altura conocida de la superficie del agua del rio.

2.º »Á efecto de poder presentar una exacta confrontacion entre la teoría y la esperiencia, sobre el curso reglado en las madres ó álveos de gran anchura.

3.º »Con la idéa de poder adquirir por término de parangon una serie de esperimentos análogos dirigidos á procurar mayores luces, que las que tenemos hasta el dia, sobre la relacion entre la suma total del agua del rio y la altura de las secciones.

206 »*Eleccion del sitio.* Era preciso hallar un trecho del álveo, en que el agua corriese igualmente bajo cualquier altura, para que de este modo no presentase irregularidad local, ni alteracion por ninguna otra resistencia.

»Prácticos esperimentados, á quienes recurrimos, nos sugirieron como situacion conveniente un trecho del rio situado por bajo del Puente Lagoscuro y Francolino, que dista del primero 10,4 millas métricas, y del segundo 5,2 millas. Tiene á su derecha el dique *Froldo de Fossa d' Alvero*, y á su izquierda el *Froldo de Garofolo*: denominaciones dadas á aquellos diques por la respectiva inmediacion á dos aldéas del mismo nombre.

207 »*Aparato de los instrumentos geodéticos é idrométricos empleados en las operaciones.* Los instrumentos geodéticos, de que hicimos uso fueron: 1.º Una exacta escuadra móvil, para fijar el mapa del trecho que nos habiamos propuesto, el sitio donde sondear repetidas veces la profundidad del rio, y la línea recorrida por los instrumentos idrométricos abandonados á la corriente. Se prefirió la escuadra, tanto por ser de un uso cómodo y espedito como porque presentando un indicio seguro de todas las operaciones, puedan repetirse los esperimentos siempre sobre las mismas líneas. 2.º Un nivel de aire para fijar por su medio la posicion de la superficie del agua, con relacion á una horizontal, y poder conocer en el acto del esperimento el declive del Po.

208 »Instrumentos idrométricos empleados. 1.º Dos astas ritrométricas (es decir *para medir corrientes*) preparadas con estudio para conocer la velocidad media de varias perpendiculares. Estas eran un palo cilíndrico de haya del diámetro de 0,034 metros, barnizado de negro para que no se introdujese el agua. En uno de sus estremos llevaba un recipiente de lata, á continuacion del mismo palo y de un diámetro poco menos que uniforme al de aquel, dentro del cual

se introducía á plomo: estaba taladrado de agugeros pequeños, en los que se introducía una llave que pasando al través de la madera, unía el recipiente al palo. Una de ellas tenía de largo 4,875 metros, que para entendernos la llamarémos *A*; la otra 2,51 metros y la llamarémos *B*. Despues de varios esperimentos, hechos en el rio, se notó que la mas corta se sumergía 2,30 metros, estando su centro de gravedad bajo la superficie del agua 1,28 metros; y respecto de la mas larga, el pedazo sumergido era de 4,695 metros, y desde la superficie del agua hasta el centro de gravedad había una distancia de 2,719 metros.

2.° »Un flotante sencillo para descubrir la velocidad de la corriente en la superficie. Era un pedazo cúbico de alerce, que tenía por lado 0,20 de metro, el cual puesto en el agua, salía sobre esta 0,012 de metro.

209 »Hicimos uso tambien de otros instrumentos, ya para sondear la profundidad del rio, ya para el cálculo de las secciones del dique, ya finalmente para la medida de las líneas accesibles.

»Los primeros (de los que únicamente harémos mencion) fueron de dos clases: 1.ª Una cuerda barnizada cuyo grueso era de 0,02 de metro y de 20 metros de largo dividida segun la medida métrica, de la que pendía en un estremo una bola de fierro de 15,702 quilógramas. 2.ª Una vara de haya, dividida en partes métricas construida de modo que pudiese manejarse cómodamente.

210 »*Prácticas observadas en la ejecucion de los relieves y de los esperimentos.* Poco dirémos sobre el relieve de la planta y de la nivelacion. La sola inspeccion de la (fig. 42 lám. 4.ª) manifiesta las diligencias practicadas en su elevacion. Para ejecutar la nivelacion de la altura inferior á *XV*, delineada en planta, se tuvo cuidado de partir de un punto fijo escogiendo el que se halló ménos sujeto á sufrir alteracion.

»Pasemos ya á las secciones del rio. En primer lugar se fijó en la altura interior del dique de la derecha una longitud de 100 metros (1), comenzando en el término inferior *V*, y midiendo por arriba hasta *X*; desde este punto con dos *Mirones*, puestos sobre la altura interior del dique izquierdo en *T* y en *U*, se colocaron dos visuales *VT*, *XU* normales á la *XV*, sobre cuyas líneas habíamos

(1) Se ha fijado la longitud de 100 ^{m}, por lo que nos asegura el apreciable *Bonnati*, á saber: que *en los trechos regulares el camino de los cuerpos que flotan en el paso de* 60 *á* 100 *toesas, puede reputarse como paralelo á la orilla*; lo cual basta para el esperimento.

practicado las secciones del Po. No fué necesario hacer observacion alguna sobre las secciones del dique, pero no así respecto á las del agua. Las habíamos calculado, sirviéndonos de un batelito con dos hombres y de una barca con otras tres personas, incluso el que sondeaba. Los dos hombres, con el batelito, se dirigian á distancia de la ribera derecha y algun tanto mas arriba de la direccion de los dos *Mirones* que trazaban la línea de la seccion que había de formarse; aquí echaban un ancla, y alargaban la cuerda, que tenían los de la barca; estos tirando de la cuerda acercaban la barca al sitio del ancla, de modo que mirando fijamente á la barca, llegase á ponerse en la línea de dichos Mirones por medio de un observador en *X* ó en *V*. Conseguido esto, se ataba la cuerda á la barca, para tenerla firme; mientras tanto un observador diligente, desde el medio de la recta *XV*, señalaba el ángulo de la altura con la visual al blanco para tener su distancia, y un sondeador práctico medía la profundidad correspondiente al sitio del mencionado punto. Despues de lo cual, llevado el batelito á otro punto mas distante de la orilla derecha, echábase otra ancla, y se alargaba del mismo modo la cuerda á los hombres de la barca; los cuales hacían, para el cálculo de la segunda profundidad, lo mismo que habían hecho ántes. Los del batelito se dirigían al instante á recuperar la primera ancla echada que se reservaba para sondear la tercera profundidad.

»En el plano se han anotado los sitios del sondéo con breves puntos que trazan la línea de las dos secciones *XU*, *VT* y los números próximos á dichos sitios señalan la profundidad de la sonda, ó sea la altura de las perpendiculares.

»Réstanos hablar del órden observado en el uso de las astas ritrométricas, y de los nadadores ó flotantes.

»Amarrada el ancla á la barca en diferentes distancias de la ribera derecha, y siempre por encima de la línea *XU*, sumergía uno en el rio ya el asta, ya los flotantes, dando aviso para que los otros estuviesen en observacion. Entre estos, un observador en *X* hacía señal de la llegada del asta ó del flotante á la visual *XU*, á fin de que otro en el medio del trozo *XV* con un relox de segundos notase el tiempo del arribo, y otro tercero con la escuadra determinase la situacion del asta ó del flotante respecto de la línea *XU*. Un cuarto observador en *V* avisaba de la llegada del asta ó flotante á la visual *VT*, donde el segundo y el tercero hiciesen el respectivo relieve ó cálculo. De este modo, puede fijarse por el segundo observador el tiempo empleado por el asta y el flotante en recorrer las líneas

determinadas por disposicion del tercero. Otros dos observadores permanecian en el batelito cerca de la línea *VT*; determinaban la inclinacion del asta con la vertical y recogían los instrumentos.

»En el plano se han anotado los parages del paso de las astas y flotantes con puntos oblicuos que marcan las líneas de las secciones *XU*,*VT*; y los números puestos en estos puntos oblicuos señalan la distancia de estos parages de los términos *X*,*V* de dichas secciones.

211 »*Resultados*. El dia 11 de junio, al comenzar los esperimentos: 1.º Del punto *a* hasta *V* trecho de 226,11 metros, el agua del Po en la superficie tenía un declive de 0,032 metros. 2.º No soplaba viento sensible. 3.º En el idrómetro de Francolino el agua estaba 2,33 metros bajo el nivel de la guardia, el cual se calculó inferior en 5,639 metros al sotarco de la puerta hácia el Po en la hostería que hay allí.

212 »Los esperimentos que vamos á expresar se hicieron en tres horas; en cuyo intérvalo de tiempo el agua del rio bajó 0,013 de metro.

Esperimento 1.º »Desde la barca se echó el asta *A*, á distancia del dique de la derecha. Corrió la línea *AB* en 85 segundos. La inclinacion de su eje á la vertical se graduó en 25°.

Esper. 2.º »A mas distancia que la precedente se echó un flotante: corrió la línea *CD* en 75 segundos.

Esper. 3.º »Hácia el mismo sitio se sumergió el asta *A*; corrió la línea *EF* en 67 segundos con inclinacion de 14°.

Esper. 4.º »Mas distante, se echó primero el flotante que corrió la línea *GH* en 77 segundos.

Esper. 5.º »Despues el asta *A*, la cual corrió la línea *IL* en 80 segundos con ángulo de 4°.

Esper. 6.º »Mas distante de la orilla derecha se echó primero el flotante, que corrió la línea *MN* en 81 segundos.

Esper. 7.º »En seguida el asta *A* empleó 89 segundos en correr la línea *OP* con ángulo de 15°.

Esper. 8.º »Se echó aun mas léjos el flotante; y corrió la línea *QR* en 88 segundos.

Esper. 9.º »Desde el mismo sitio se echó el asta *B*, que corrió en 100 segundos la línea *SR* en direccion vertical.

»La misma asta se echó en la corriente en sitio de mayor profundidad. Los que estaban en el batelito, para recogerla, no observaron inclinacion alguna ni hácia adelante ni hácia atras."

213 En la obra intitulada *Ricerche geometriche ed idrome-*

triche fatte nella scuola de gl' Ingegneri pontifici d' adque e strade l'anno 1821, impresa en Milan año de 1822 pág. 52, se pone lo que sigue: "*Esperimentos para medir la cantidad de agua corriente en el Tíber, hechos por Buenaventura Benetti ingeniero pontificio, etc.*

»En 1820 se publicaron los esperimentos idrométricos hechos con el asta ritrométrica, donde el Po forma el confin septentrional de la provincia de Ferrara; y precisamente en los contornos de Fossa d'Alvero, aldéa situada á la orilla derecha de aquel rio siete millas mas abajo de Lagoscuro.

»Iguales pruebas se han hecho en este año (1821) en el Tíber, inmediato á Roma, en el intérvalo entre Ponte-Molle y la entrada del rio en la ciudad. Procurarémos describirle de modo que se vea por instantes el curso del esperimento para poder imitarle en otras ocasiones, deseando hacer familiar el uso de este método, que es absolutamente el mas espedito y el mas fácil que puede ponerse en ejecucion en los rios grandes, y tal vez el único practicable en la mayor corriente de los rios caudalosos.

»Para esto, dividirémos esta relacion en tres partes. En la primera espondrémos las indagaciones preliminares para la eleccion del sitio y preparativos del esperimento. En la segunda se describirá el método con que se practicó. Y en la tercera el que se ha seguido para calcular los resultados.

»El señor Inspector Luis Gozzi, que en muchas ocasiones, y singularmente en compañía del célebre caballero Bonnati, estaba acostumbrado al manejo de las astas ritrométricas, cuidó de preparar y dirigir el esperimento, al cual, ademas de los profesores y alumnos de la escuela, asistió y cooperó con mucho celo el señor Pedro Fortuna, ingeniero aspirante agregado á los trabajos del Tíber.

214 »I. *Indagaciones preliminares.* Señalado un trozo del rio el mas recto y regular que podía discernirse con la vista, ántes de resolver hacer aquí el esperimento del asta, se consideró necesario recorrer con la barquilla muchas veces aquel trozo, siguiendo la línea paralela á la orilla, y sondeando repetidas veces para asegurarse de si la profundidad en lo largo de aquella línea era uniforme, si el asta podía caminar sin encontrar estorbo, y la longitud que para esto debía tener. Es claro que en cada una de las perpendiculares, se debe emplear el asta mas larga posible y que se acerque al fondo todo lo que se pueda, sin que haya peligro de que se detenga en su pie por algun estorbo que resulte en dicho fondo. La longitud conveniente al

asta, que ha de emplearse en cada perpendicular, no es posible que se determine bien sin esta investigacion preliminar del fondo del rio en el trozo elegido para el esperimento.

215 »Escogida en esta forma una parte del Tíber, cuya longitud era de 60 metros, se levantaron las secciones del rio en los estremos del trozo designado. La seccion superior á flor de agua tenía de ancho 70,39 metros; la inferior 77,64 metros, como se manifiesta en el diseño (fig. 43 lám. 4.ª).

»El ancho de estas secciones era tal que se podía levantar del modo ordinario, esto es, con atravesar el rio con un cordel bien tirante, y dividido con señales en partes métricas, y sondear el fondo bajo cada division.

»Las astas ritrométricas se hicieron de varios trozos cilíndricos de álamo, del diámetro de 0,04 de metro, que podían unirse y desunirse; y así, con pocos pedazos, variamente combinados, se componían en el momento las astas mas ó ménos largas segun era menester. El artificio con que se unen dos piezas se manifiesta en la (fig. 44) (1).

»Al trozo que forma la estremidad inferior del asta se halla unido un cilindro de lata (fig. 45) (2) donde se introducen pesos cilíndricos de plomo, cuantos sean necesarios para hacer que el asta quede casi sumergida del todo, no debiendo salir fuera del agua mas que una pequeña parte de dos ó tres decímetros cuando mas.

»El pedazo que forma la estremidad superior, que sobresale del agua, tiene encima una ancla pequeña (fig. 46) (3) formada de cuatro ganchos de fierro, para que, al llegar el asta á la seccion inferior, se enganche en la cuerda y se detenga en ella.

»Preparadas así las astas, y barnizadas para que no embeban el agua, restaba solamente determinar el peso que debían tener, segun su diferente longitud, para quedar casi del todo sumergidas. Este peso se graduó en el mismo rio dejando caer poco á poco cada una de las astas hasta obtener el grado suficiente de inmersion. Para que no se estropease durante esta operacion, se sostenían con una cuerda floja.

216 »II. *Esperimento.* Preparado así todo, se dió principio al esperimento el 19 de junio de 1821, en cuyo dia estaba la superficie del agua 1,17 metros mas baja que el piso de la última grada

(1) *abcd* vareta de fierro rodeada al asta ó baston cilíndrico de madera *AB*. *CE* tubo de lata unido al baston cilíndrico de madera *ED*. *r* gancho de fierro destinado á abrazar la vareta *abcd*.

(2) *FG* recipiente cilíndrico de lata capaz de contener pesos de plomo s, s', s'', s''', y un tarugo de madera para el hueco que resulte.

(3) *IN* ancla para unirla al pedazo superior del asta.

del *Passo Portto de Ripetta* en línea á la fábrica *Doganale* (1); pero la superficie del agua en la mayor menguante venia á ser superior en solo 0,73 de metro. Observada esta señal al principio, y cotejada al fin del esperimento, dió á conocer que miéntras este duró, no hubo en el rio variacion alguna. El dia estaba sereno, y no reinaba viento alguno.

»Se empezó estendiendo una cuerda muy tirante, y dividida con señales métricas de trecho en trecho sobre la seccion superior, y otra semejante sobre la seccion inferior. La primera estaba colocada á cierta altura sobre la superficie del agua para que por debajo pudiesen pasar libremente las astas que se deben sumergir en el rio un poco mas arriba, á fin de que lleguen á la primera seccion, despues de haber adquirido ya un movimiento igual, y tomado una inclinacion constante. Por el contrario, la segunda estaba tirada casi á flor del agua para que el asta, al llegar allí, se detuviese por medio de los ganchos, tanto para cogerla mas fácilmente, como para determinar el punto preciso de su llegada á la seccion inferior.

217 »Para este esperimento hay bastante con tres operarios. Al primero, puesto en la barquilla cinco ó seis metros mas arriba de la primera seccion, se le encarga echar el asta al agua, y advertir el punto de su paso por la primera seccion, refiriéndose á las señales ó divisiones de la cuerda estirada sobre aquella, cuida de sumergir el asta poco á poco, introduciéndola oblicuamente en el agua, donde quedando abandonada á sí misma, se endereza, toma una posicion constante y llega á la seccion con movimiento progresivo y uniforme. El segundo, puesto en la barquilla poco mas abajo de la seccion inferior, pasa á recobrar el asta detenida en la cuerda, y señala al mismo tiempo el punto de su llegada á dicha seccion. Finalmente el tercero, puesto á la orilla, observa con un relox de segundos el tiempo que ha gastado el asta en correr los 60 metros, intérvalo de una seccion á otra. Y esta operacion parece que puede hacerse cómodamente por un solo observador, que colocándose en frente de la primera seccion para esperar que pase el asta, tiene despues tiempo de recorrerla y ponerse en frente de la segunda seccion para esperar que llegue á ella.

»Todas las astas caminaron ó verticales, ó algun tanto inclinadas hácia adelante, y casi corrieron líneas paralelas á la orilla como puede verse en el diseño (fig. 43) donde están señaladas con sus

(1) El plano de la espresada última grada está sobre el nivel del Mediterráneo en aguas bajas 7,66 metros.

precisos intérvalos las líneas *Aa*, *Bb*, *Cc* &c. recorridas por cada una de las astas *.

218. »Para evitar confusion en el diseño no se ha señalado la profundidad del agua en cada uno de los puntos del paso de las astas por las dos secciones.

Aquella fue como sigue:

Seccion superior.		Seccion inferior.	
A.	2,24	*a*.	2,90
B.	3,00	*b*..	3,14
C.	3,26	*c*..	3,09
D.	3,32	*d*.	3,04
E.	3,34	*e*..	2,95
F.	3,56	*f*..	3,00
G.	3,68	*g*.	3,45
H.	4,36	*h*.	4,43
I.	4,84	*i*..	4,14
L.	4,80	*l*..	4,06
O.	4,82	*o*.	4,04
P.	4,92	*p*.	4,04

Esperimento I. Un asta, cuya longitud era de 1,71 metros, con su centro de gravedad distante del estremo inferior 0,645 de metro, corrió la línea *Aa* en 108 minutos segundos.

II ——— Un asta de 2,21 metros, con el centro de gravedad distante 0,69 de metro del estremo inferior, corrió *Bb* en 78″.

III ——— Otra semejante corrió *Cc* en 57″.

IV ——— Otra semejante corrió *Dd* en 59″.

V ——— Otra semejante corrió *Ee* en 55″.

VI ——— Otra semejante corrió *Ff* en 50″.

VII ——— Un asta de 3,21 metros, con el centro de gravedad distante 0,93 de metro del estremo inferior, corrió *Gg* en 54″.

VIII ——— Otra semejante corrió *Hh* en 51″.

IX ——— Un asta de 4,21 metros, con el centro de gravedad á

* Las letras de la figura del Autor no están conformes con la esplicacion; pues pone *A′*, *B′*, *C′*, donde la esplicacion habla de *a*, *b*, *c*, &c. Nosotros hemos enmendado la figura para que corresponda con la esplicacion.

1,185 de metro de la estremidad inferior, corrió *Ii* en 54″.

X ——— Otra semejante corrió *Ll* en 54″.

XI ——— Otra semejante corrió *Oo* en 61″.

XII ——— Otra semejante corrió *Pp* en 71″.

XIII ——— Con el objeto de examinar si la velocidad del agua en una misma perpendicular se disminuía progresivamente descendiendo hácia el fondo, como se ha observado tan constantemente, y como había de ello indicio, al ver que el asta caminaba un poco inclinada hácia adelante, se echó hácia el filete del rio entre los puntos *H* é *I* un asta de solo un metro de longitud y corrió el intérvalo entre las dos secciones en 45″.

XIV ——— Echado al agua un corcho en el mismo lugar corrió el propio intérvalo en 44″.

»Por último, se examinó la inclinacion de la superficie del agua con el nivel de aire y se halló era su caida de 0,032 de metro en la distancia de 245 metros.

219 »III. *Cálculos y resultados del esperimento.*

»Puesto que las astas caminaron derechas, con poquísima separacion de su perpendicular, se infiere que sin temor de equivocarme la velocidad de cada una de las astas puede tenerse por la velocidad media del agua en la perpendicular que abraza la misma asta.

»Y el medio aritmético entre la velocidad de dos astas que corren dos perpendiculares inmediatas entre sí, puede tenerse por la velocidad media del agua en el trapecio que termina en aquellas dos perpendiculares.

»En cuanto á los dos triángulos comprendidos entre la perpendicular última y la orilla, la velocidad media en cada uno de estos triángulos se podrá hacer cuenta que sea la misma que la de las perpendiculares contíguas *.

220 »Segun estos principios se ordenó el cálculo como se ve en el adjunto *Schema* (la tabla del § 223) procediendo del modo siguiente: supongamos dos líneas consecutivas *Aa*, *Bb* corridas por el asta. Siendo la profundidad en *A*, de 2,24 metros, y en *a* de 2,90 metros, como hemos advertido en las secciones y se ha espresado arriba, la profundidad comparada bajo la línea *Aa* será el

---

* Me parece que esta hipótesis no es de todo punto verdadera; y que sería mucho mas exacto el resultado, si se considerase como velocidad media de los triángulos estremos, la que correspondiese al centro de gravedad de dichos triángulos.

término medio aritmético entre las en *A* y en *a*, que equivale á 2,57 metros. De la misma manera, siendo la profundidad en *B*=3,00 y en *b*=3,14, será la profundidad media bajo la línea *Bb*=3,07. De donde resulta que la profundidad media del fondo, entre las líneas *Aa* y *Bb* será el término medio aritmético entre la profundidad en *Aa* y *Bb*, á saber 2,82. Ademas, siendo el intérvalo *AB*=4,08, y el intérvalo *ab*=5,35 (V. la fig. 43), será el ancho medio=4,715. Multiplicando este ancho medio por la profundidad media 2,82, tendrémos 13,296 metros cuadrados para la seccion media comprendida entre las líneas *Aa* y *Bb*.

221 »Ahora pues, la velocidad en *Aa*, por el esperimento primero es de 0,555 de metro en un segundo; y la velocidad en *Bb* por el esperimento 2.º es de 0,769 de metro. De donde resulta la velocidad media del agua en el sólido, comprendido entre *Aa* y *Bb*, de 0,662 de metro. Multiplicando esta velocidad por la seccion media, que es 13,296 metros cuadrados, tendrémos 8,802 metros cúbicos para la porcion de agua que lleva la seccion espresada, ó sea para la cantidad de agua que pasa en un segundo entre las líneas *Aa* y *Bb* *.

222 »Igual cálculo se hace respecto de cada una de las partes comprendidas entre dos líneas consecutivas, y se estiende tambien á las partes estremas que terminan en la orilla, como se ve en el *Schema* ó tabla del párrafo siguiente; y la suma de las secciones medias parciales de la seccion media del rio en el trozo examinado, así como la suma de las cantidades de agua parciales de la suma total del agua que lleva el rio en el mismo parage.

»De aquí se infiere que la seccion media del Tíber, en el dia y parage del esperimento era de 218,779 metros cuadrados, y que la cantidad de agua que pasaba en cada segundo era 244,0554 metros cúbicos.

»Dividiendo la masa total del agua por el área de la seccion, se obtiene la velocidad media de la corriente del Tíber en el dia y lugar espresados, y resulta que corre en un segundo 1,115 metros" **.

---

* Este método de determinar la cantidad de agua que pasa por estos espacios trapeciales lo encuentro sumamente ingenioso y el mas exacto que, segun el estado actual de los conocimientos hidráulicos, se puede imaginar respecto de los rios caudalosos.

** Son varias las erratas de imprenta ó equivocaciones que hemos notado en este cálculo; y así, este resultado no corresponde á los datos. En el (§ 254 y siguientes), rectificarémos los errores que hemos advertido, y pondrémos el verdadero resultado.

223 »*Resultados de los esperimentos del* 19 *de junio de* 1821, *á tiempo que el rio Tíber señalaba* 1,17 *metros bajo la línea de la última grada del Passo-Porto de Ripetta en línea de la fábrica Doganale* *.

Líneas que corrieron las astas.	Sondéos comparados. Para cada una de las líneas corridas.	Sondéos comparados. Entre dos líneas consecutivas.	Distancia media entre dos líneas consecutivas.	Producto de los números señalados en las columnas 3 y 4.	Velocidad de las astas por 1'' á lo largo de las respectivas líneas.	Velocidad media entre dos líneas consecutivas.	Producto de los números de las columnas 5 y 7.
1	2	3	4	5	6	7	8
	m.	m.	m.	m. cuads.		m.	m. c.
Contacto del agua con la orilla.	0,00	1,285	6,16	7,916	0,000	0,555	4,3934
Aa.	2,57	2,82	4,715	13,296	0,555	0,662	8,8020
Bb.............	3,07	3,08	5,49	16,909	0,769	0,910	15,3872
Cc.............	3,09	3,135	3,445	10,800	1,052	1,034	11,1672
Dd.......	3,18	3,162	8,72	27,573	1,016	1,053	29,0344
Ee.............	3,145	3,212	7,38	23,705	1,090	1,145	27,1422
Ff.	3,28	3,422	7,045	24,108	1,200	1,155	27,8447
Gg.	3,565	3,98	10,155	40,417	1,111	1,143	46,1966
Hh.	4,395	4,442	2,93	13,015	1,176	1,143	14,8761
Ii.	4,49	4,46	1,37	6,110	1,111	1,111	6,7882
Ll.	4,43	4,43	5,98	26,491	1,111	1,047	27,7361
Oo.	4,43	4,455	2,135	9,511	0,983	0,914	8,6931
Pp.......	4,48	2,24	8,45	18,928	0,845	0,845	15,9942
Contacto del agua con la orilla.	0,00				0,845		
		Seccion media m. cuad.s . 218,779					
		Volúmen total del rio en 1'' metros cúbicos.					244,0554.

SECCION TERCERA.

Consecuencias que se deducen de las últimas mediciones de la seccion, cantidad de agua y velocidad de esta en los rios de Italia, y exámen del grado de exactitud que tienen las fórmulas de Mr. Eytelwein, Prony y la mia, deducida tomando términos medios entre las cantidades constantes, que entran en las de MMrs. Eytelwein y Prony, y teniendo en consideracion la fuerza de la gravedad.

224 Para establecer con algun fundamento sólido las conse-

* Repetimos que son varias las equivocaciones que hemos notado en esta tabla á que llaman *Schema* los Autores. En el (§ 254 y siguientes), rectificarémos todas las que hemos advertido.

cuencias que se deben deducir, principiarémos insertando la traduccion literal del siguiente escrito, que se halla en la pág. 12 de la obra que últimamente hemos citado (§ 213) bajo el título de *Ricerche* &c. que dice así:

"*Nueva fórmula hidrométrica del Sr. Eytelwein confirmada con varios esperimentos hechos en Italia y aumentada con una tabla para facilitar su uso.*

»*Cuando el agua pasa de la quietud al movimiento, ya salga del depósito de las mismas fuentes, ya provenga del derretimiento de las nieves ó ya de otra manera, adquiere en su descenso por los álveos de los rios, que son algun tanto planos, ó cuando mas inclinados horizontalmente, algun grado de velocidad; pero bien pronto queda esta reducida á la igualdad, á causa de la resistencia que encuentra el agua en su movimiento.* Así dice Guglielmini, en el capítulo 4.º de su Tratado de la naturaleza de los rios. *Y de que esto acontezca verdaderamente en los rios*, añade *Eustaquio Manfredi* en sus anotaciones al mismo lugar, *nos da la esperiencia bien manifiesto indicio, mostrando que en las secciones igualmente anchas, aunque en sitios que disten bastante entre sí, se halla casi la misma altura viva del agua; por lo cual en los trechos mas regulares, aunque bastante largos, se observa la superficie paralela ó casi paralela al fondo, aunque inclinado al horizonte: así, aunque á las secciones mas angostas vayan sucediendo alternativamente otras un poco mas anchas, en breve espacio se mantiene no obstante el dicho paralelismo.........el cual muestra una igualdad sensible de velocidad media.*

225 »Este estado de igualdad y de permanencia es tan frecuente que en los rios de álveo poco irregular, casi puede asegurarse que se verifica en todos los puntos, esceptuando los muy inmediatos ó al orígen ó á las desembocaduras, ó al encuentro de obstáculos que ocasionan rebosaduras; y fuera del tiempo de la creciente, y menguante de la avenida, en cualquier otro lugar y tiempo, el curso de un rio permanece sensiblemente igual.

226 »De aquí es que los hidráulicos se han dedicado principalmente á estudiar este estado ordinario de los rios, y han procurado descubrir cual sea el grado de velocidad igual que compete á un rio que corre por una madre de figura determinada y declive. Advertidos de que para la solucion de este problema, la teoría no presenta auxilio suficiente, se han determinado á buscarla en la esperiencia; midiendo la velocidad media en varias corrientes de diferente seccion

y declive; á fin de componer por este medio una fórmula á propósito para presentar los resultados de los esperimentos hechos, y descubrir por esta via indirecta las leyes de la resistencia que retienen y reducen á la igualdad la corriente del agua. Del mismo modo, los Astrónomos conocieron en un principio los movimientos de los planetas por medio de tablas redactadas de la serie de repetidas observaciones, de las cuales tomó despues Keplero la figura de sus órbitas y Newton la ley de la fuerza que en ellas los retiene.

227 »*Dubuat* fué el primero, que, despues de haber hecho muchos esperimentos con canales pequeños artificiales y alguna observacion sobre un canal de desecacion y sobre el rio *Hayne*, compuso con mucho cuidado una fórmula hidrométrica (1). Despues el ingeniero *Girard* ideó una fórmula mucho mas sencilla (2). Y finalmente *Prony*, aprovechándose de las investigaciones de sus predecesores, adaptó la fórmula de *Girard*, pero determinó con mayor puntualidad los coeficientes. La fórmula de Prony (3) está formada en virtud de treinta y un esperimentos, y todos corresponden muy bien, aunque aquellos casi todos se hicieron en corrientes pequeñas de agua, y nos dejan duda si sus resultados podrán aplicarse con seguridad á las dilatadas secciones de los canales navegables y de los rios; pudiendo suceder que en las grandes madres siga acaso la resistencia otra ley, ó que, á lo ménos, varíen los coeficientes de la fórmula que la espresen. De aquí es que aun se deseaba, para mayor ilustracion de este importante y principal problema de la ciencia hidráulica, *una serie de observaciones bien practicadas sobre trechos mas regulares y uniformes de varias corrientes, donde se anotasen con exactitud las dimensiones del álveo, su declive y la velocidad media* (4).

228 »El *Sr. Eytelwein* satisfizo en esta parte y completamente, el deséo de los amantes de la hidrometría, reuniendo las esperiencias hechas en grande por los ingenieros Alemanes *Brünings*, *Funk* y *Wolttman* en el Rin de Alemania, en el Weser y en varios canales. Y reuniendo á ellas las de *Dubuat*, formó una serie de noventa y un esperimentos, que como era de desear comprende realmente gran diversidad de accidentes. Puesto que hay pequeñísi-

---

(1) *Dubuat*: Principios de Hidráulica, part. 1.ª, secc. 1. cap. 7.

(2) *Girard*: Ensayo sobre el movimiento de las aguas corrientes. París 1804. Informe sobre el proyecto del canal de l'Ourcq. París 1803.

(3) *Prony*: Investigaciones sobre la teoría de las aguas corrientes § 16.

(4) *Venturoli*: Elementos de Mecánica y de Hidráulica, tom. 2.º art. 322.

mas secciones de 0,015 de metro cuadrado, y hay otras grandísimas hasta de 2600 metros cuadrados; miéntras que, en los esperimentos adoptados por *Prony*, el ancho de la seccion no escede de 29 metros cuadrados. Los declives varían muchísimo, siendo el menor de $\frac{3}{10000}$, y el mayor de $\frac{1}{100}$. Lo mismo sucede con la velocidad media, pues la menor es de 0,12 de metro en un segundo, y la mayor llega hasta 2,4 metros. De este abundante aparato de esperimentos ha deducido una fórmula nueva, ó por mejor decir, ha reproducido la misma de *Girard* y de *Prony* pero con coeficientes algun tanto diversos.

229 »La fórmula corresponde con mucha exactitud á las observaciones segun se verá en el plano adjunto á esta memoria *. Y de aquí parece que ahora se puede con mayor probabilidad tener por verdadera aquella ley de la resistencia que supuso *Coulomb*, y que se presenta en la fórmula de *Girard*, á saber: que la resistencia que encuentran las aguas corrientes tiene dos términos, uno proporcional al cuadrado de la velocidad, y otro á la velocidad simple; y que está en razon inversa del *radio medio*, ó de la superficie de la seccion dividida por el perímetro bañado por el agua.

230 »La memoria del *Sr. Eytelwein* se halla entre las de la Real Academia de Berlin, años 1814 y 1815, parte matemática pág. 135 y siguientes. Como este libro no puede tenerse á mano fácilmente, se ha pensado dar noticia á los alumnos de la escuela y á los ingenieros italianos, presentando aquí la nueva fórmula hidrométrica y la serie de los esperimentos de que se ha deducido, acompañando otros de igual naturaleza hechos en Italia, y calculando una tabla por la cual, dada la seccion y el declive de la madre del agua, se halla á primera vista la velocidad media, sin que sea necesario calcularla por la fórmula.

231 »*Fórmula de Eytelwein*. Sea D el radio medio, esto es, el área de la seccion dividida por aquella parte de su contorno que permanece bañada del agua; sea cos. φ. el coseno de la inclinacion del álveo á la vertical; el cual coseno se halla dividiendo la caida, ó sea la altura del punto superior sobre el inferior, por la longitud del trozo intermedio entre estos dos puntos; sea g la gravedad, que se designa con el doble del espacio que corre un grave cayendo en el vacío durante un segundo; y sea finalmente u la velocidad media. Se tendrá

---

* Es la tabla que insertarémos (§ 244).

(O) $u=-0,0033875g+\sqrt{(0,00001145g^2+278,899Dg\ \cos.\ \phi)}$ esta es la fórmula de Eytelwein.

»Tomando por unidad de medida lineal el metro, será $g=9,8088$ metros y se tendrá la fórmula

(P) $u=-0,03319+\sqrt{(0,0011+2735,66D\ \cos.\ \phi)}$; de la cual se hará uso cuando se mida por metros, y resultará ciertamente en metros la velocidad, ó sea el número de metros que el agua corre en un segundo.

232 »Para conocer por la fórmula de Eytelwein cual sea la medida y la ley de la resistencia, que encuentra el agua, corriendo por el declive de los álveos, observarémos que llamando gR esta resistencia, luego que el movimiento se ha reducido á la igualdad, deberá ser $gR=g\times\cos.\ \phi$, ó sea $R=\cos.\ \phi$. Pero la fórmula ó sea la ecuacion (O) puede ponerse bajo esta otra forma

(o) $0,00717\dfrac{u^2}{2gD}+0,000024\dfrac{u}{D}=\cos.\ \phi$. Luego segun la predicha fórmula será $R=0,00717\dfrac{u^2}{2gD}+0,000024\dfrac{u}{D}$.

»Tiene pues la espresion de la resistencia dos términos: uno proporcional con el cuadrado de la velocidad, ó sea con la altura $\dfrac{u^2}{2g}$ debida á la misma velocidad, y el otro proporcional con la simple velocidad; ambos términos son proporcionales inversamente al radio medio D, siendo el coeficiente del primer término 0,00717 y el coeficiente del segundo 0,000024.

233 «*Esperimentos que comprueban la fórmula de Eytelwein.* Los esperimentos con que *Eytelwein* calculó los coeficientes de su fórmula, se han repetido por varios observadores en diversas corrientes, y la velocidad media se ha esplorado con diferentes artificios. Citarémos los lugares de los Autores en que pueden verse sus métodos y resultados.

«Los de *Dubuat* (1) son treinta y seis. Veinte y seis en un canal artificial, seis en un canal de desecacion llamado *Canal de Jard* y cuatro en el rio Hayne en agua baja. La mayor seccion no pasaba de 29 metros cuadrados.

(1) *Dubuat*: Principios de hidráulica, part. 2.ª, secc. 1.ª cap. 5 y 8.

»Los cuatro esperimentos de Wolttmann, (1) se hicieron en algunos canales cerca de Cuxhave y Ritzebüttel.

»Los de Funk (2) se hicieron en el rio Weser en el principado de Minden y son 35. Aquí las secciones son bastante mayores y llegaron á mas de 600 metros cuadrados.

»Pero los esperimentos mas en grande son los 16 de Brünings (3) en el Rhin de Alemania, en el Waal, y en el Issel, donde teníamos una seccion de casi 2600 metros cuadrados.

»De modo que, los esperimentos de que ha hecho uso *Eytelwein* son en todo 91.

234 »Conviene aumentar esta serie con añadir progresivamente las otras medidas hidrométricas que se irán haciendo; porque, por comparaciones multiplidadas y variadas cuanto mas se pueda, ó conseguirémos siempre mayor certeza de las fórmulas, ó tendrémos datos para corregirlas donde se hallen escepciones notables. Miéntras tanto, podemos aumentarlas con algunos esperimentos hechos recientemente en Italia.

235 »I. En primer lugar, tenemos tres exactísimos, hechos en el otoño de 1819 por el Profesor *Jorge Bidone*, en los canales de establecimiento hidráulico de la Real Universidad de Turin (4). El autor que los confrontó con la fórmula de Eytelwein, los halló exactísimos.

»II. Espondrémos en segundo lugar las pruebas que se han hecho en grande en los rios de Italia. El caballero *Teodoro Bonnati*, antiguo inspector de aguas y calzadas, de feliz memoria, ha examinado con astas ritrométricas la medida del agua del Po en tres diferentes estados, en menguante, en mediana agua, y en creciente. Estos esperimentos se describen en una Memoria inédita hasta ahora, y que se cree verá la luz pública entre las del Instituto, y de la cual vamos á presentar un estracto.

236 »En 19 de diciembre de 1811 se designó una seccion del Po en menguante poco mas abajo de Lagoscuro. El nivel del agua se hallaba mas bajo que el punto de la guardia 3,83 metros. La seccion tenía de ancho por arriba 606,26 metros; la profundidad del agua en el filete de mayor velocidad era de 3,42 metros, pero

(1) *Woltmann*: Beiträge zur Baukunst Schiftbärer kanale, § 279.
(2) *Funk*: Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst. § 97—100.
(3) V. Allgemeine Wasserbaukunst. von Wiebeking. I theil § 344—388.
(4) *Bidone*: Esperimentos sobre el remolino y sobre la propagacion de las ondas. Part. 1.ª, art. VII. Memorias de la Real Academia de Turin, tomo XXV.

la profundidad comparada con la de las cinco perpendiculares, resultó de 2,67 metros. El área de la seccion fué de 1617,4079 metros cuadrados; el perímetro bañado de cerca de 612,09 metros, y de aquí el radio medio D=2,64.

»Un poco mas arriba de cada una de las cinco perpendiculares se sumergió un asta ritrométrica, y se observó el tiempo que empleaba en recorrer un trozo de longitud medida, que en este esperimento fué de 80,96 metros, de donde era fácil deducir la velocidad de su curso. Las astas casi llegaban al fondo, pues su estremo inferior no distaba de aquel mas que 0,40 de metro, ó cerca de ellos, y caminaban paralelas á la orilla casi verticalmente; por lo que no pudo dudarse que su velocidad representaba próximamente la velocidad media del agua en las respectivas perpendiculares. Observada la velocidad de cada una de las astas, se procedía al cálculo de la masa total del agua, de este modo: en cada trapecio, comprendido entre una y otra perpendicular, se consideró que la velocidad media fuese un término medio aritmético entre la velocidad observada en las dos perpendiculares últimas; y multiplicando esta velocidad por el área del trapecio, venía á conocerse la cantidad de agua que pasaba por aquel trapecio en un segundo. En cuanto á los dos triángulos estremos, terminados en una sola perpendicular, se hizo cuenta que la velocidad media era la misma que la de la perpendicular contígua *. Y sumando entre sí la masa total de agua de todas las figuras que componen la seccion, resultaba la que llevaba la corriente entera.

237 »De este modo se halló que en la mencionada seccion pasaron en cada segundo 1110,40 metros cúbicos de agua. Dividiendo esta masa por el área de la seccion ya medida, que era de 1617,4079 metros cuadrados, resulta la velocidad media de 0,687 de metro.

238 »Este mismo esperimento se renovó en el mismo sitio, y en mediano porte de agua el 30 de mayo de 1812, hallándose el Po bajo la línea de la guardia tres metros. La profundidad máxima, en el filete de mayor velocidad, fué de 4,09 metros; mas la profundidad comparada dió 3,78 metros. El área de la seccion era de 2299,6967 metros cuadrados; el perímetro bañado 615,57 metros; y de aquí el radio medio D=3,736. Observada la velocidad del asta en cinco perpendiculares, y calculada como arriba la masa

* Esta consideracion no es suficientemente exacta, como ya hemos observado (nota del § 219) al hablar del esperimento hecho en el Tíber en 1821.

de agua de toda la seccion, se tuvieron 1693,12 metros cúbicos. Dividiendo esta masa por el área de la seccion, da la velocidad media 0,736 de metro.

239 »Finalmente, en lo mayor de una gran avenida que en Lagoscuro sobrepujó en 1,837 metros al nivel de la guardia, permaneciendo 0,676 de metro mas baja que la señal de la avenida mayor, se quiso medir el agua del Po con el asta ritrométrica, único medio de poderse intentar en aquel estado del rio. Esto fué el dia 12 de junio de 1815.

»Se midió una seccion del Po frente de Francolino, y se halló el área de 3734,5601 metros cuadrados, * y el perímetro bañado de 527,20 metros; de aquí el radio medio $D=7,08$. La profundidad comparada era de 7,32 metros; mas la profundidad máxima en el filete de en medio llegaba á 11,97 metros. Observada la velocidad del asta en seis perpendiculares, se calculó la masa de agua de la seccion, y fué de 4739,62 metros cúbicos. Dividiendo este número por el área de la seccion, resulta la velocidad media de 1,269 metros.

240 »Para poder confrontar estas tres medidas con la fórmula de Eytelwein, es necesario conocer el declive que tiene el Po en el trecho sujeto al esperimento. Este dato nos le suministra el Caballero Bonnati. Desde Lagoscuro á Francolino, dice, hay 1360 perchas bolonesas; el agua del Po en su superficie tenía el declive de tres pulgadas y dos tercias por milla, en todo 10 pulgadas y un punto. De aquí se tiene $\cos.\phi=0,0000611$ **.

»Pero si esta determinacion del declive puede convenir á los dos primeros esperimentos en los cuales estaba el Po casi en su estado ordinario, no puede convenir del mismo modo al tercero en que estaba en creciente. De Lagoscuro por bajo el nivel del agua en la creciente del Po comienza á comprimirse sensiblemente hácia el nivel bajo del agua, y tendrémos (1) que desde Lagoscuro á la Cloaca de Racano, trecho de 3910 perchas, el nivel del agua alto se acerca al bajo 17 pulgadas y 7 puntos; y esta inclinacion es mayor de Racano abajo. Ahora pues, si en 3910 perchas, el nivel del agua se acerca al bajo 17 pulgadas y 7 puntos, en 1360 perchas que hay de Lagoscuro á

* Esta es la seccion mayor de cuantos esperimentos se han practicado hasta ahora.

** Por desgracia esta determinacion no se puede considerar sinó como aproximada. El declive del rio debe tomarse en la época del esperimento; pues de otro modo está sujeto á graves errores. Sin embargo, esto puede servir para formar una idea del grado de confianza de las fórmulas.

(1) *Manfredi*: Diálogos entre Jorge Maurelio, &c. Coleccion de las aguas de Florencia, tom. 6, pág. 207.

Francolino se bajará 6 pulgadas y 2 puntos. Luego la caida del nivel alto del agua de Lagoscuro á Francolino de ningun modo podrá ser de 10 pulgadas y 1 punto, sinó de 16 pulgadas y 3 puntos, y el coseno que representa el declive de la superficie, en vez de 0,0000611, será por lo ménos 0,0000996 *.

» Adoptarémos pues para los dos primeros esperimentos de Bonnati cos. $\phi=0,0000611$, y para el tercero cos. $\phi=0,0000996$; y calculando por la fórmula de Eytelwein, hallarémos para la velocidad media, del Po bajo, del Po mediano, y del Po alto, los valores siguientes 0,632; 0,758; 1,356 no muy distante de la velocidad efectivamente observada 0,687; 0,736; 1,269.

241 » III. Comparemos ahora con la fórmula de *Eytelwein* el esperimento hecho el año pasado por los Profesores y Alumnos de nuestra escuela de Ferrara (1) sobre el mismo Po en Fossa d'Alvero, lugar mas bajo que Francolino 1360 perchas. El dia 11 de junio de 1820, hallándose el Po mas que mediano, puesto que se hallaba 2,33 mas bajo que el punto de la guardia, se levantaron dos secciones distantes entre sí el intérvalo de 100 metros. La seccion superior ancha sobre el nivel del agua era de 394,10 metros; comprendía el área de 2011,18 metros cuadrados; el perímetro bañado puede suponerse de 405 metros. En la seccion inferior cuyo ancho á flor del agua era de 400,26 metros, el área se halló ser de 1787,14 metros cuadrados, y el perímetro bañado 409 metros. De aquí la seccion media resulta de 1899,16 metros cuadrados, con el perímetro de 407 metros; por lo cual será el radio medio $D=4,666$. Se hicieron correr las astas por cinco perpendiculares; y corrieron el espacio de 100 metros en el tiempo que se ha indicado en la citada relacion. De los cuales, haciendo el cálculo de la masa de agua con la regla que declararémos (2) al dar cuenta del esperimento hecho este año en el Tíber, nos resulta ser la suma de agua de la seccion media de 2176,04 metros cúbicos en cada segundo. Y dividiendo aquella suma por el área de la seccion, se obtiene la velocidad media de 1,146 metros.

242 » Para determinar el declive, se niveló la superficie del agua del Po; y en una longitud de 226,11 metros, se halló la cai-

---

* Debemos repetir aquí el contenido de la nota anterior.

(1) Investigaciones geométricas é hidrométricas hechas en la escuela de los Ingenieros pontificios el año 1820, pág. 11. Es el que hemos insertado en el (§ 191).

(2) Es la que hemos puesto (195).

da de 0,032 metros; y así el coseno de la inclinacion á la vertical produciría 0,0001415. Supuesto este declive, la fórmula de *Eytelwein* mostraría la velocidad media de 1,311 metros, mientras que la velocidad observada resulta como arriba de solos 1,146 metros.

»Mas yo pienso que para determinar la inclinacion de la superficie en un rio grande como el Po no debíamos fiarnos del todo en una sola nivelacion de un trecho corto *, por ser siempre incierta é inconstante la situacion de las señales puestas á la flor del agua, á causa del movimiento undulatorio y de la instabilidad de la superficie, y porque el error de pocas líneas en una caida pequeñísima, es causa de un error grave para calcular el declive. Y á la verdad, ¿cómo puede creerse que la inclinacion del nivel del rio inmediato á Fossa d' Alvero llegue á 0,0001415, mientras que la inclinacion del nivel altísimo de Lagoscuro á Racano, en cuyo trecho está comprendida la situacion de Fossa d' Alvero, no es mas que de 0,0000996?

»Por tanto creo que, dejando aparte el cálculo de la nivelacion hecha en Fossa d' Alvero, como sujeto á mucha incertidumbre, el nivel del agua del Po en aquel trecho no pueda estimarse cuando mas sinó en 0,0000996 **.

»Segun este cómputo, la velocidad calculada por la fórmula viene á ser de 1,095 metros, que se acerca mas á la observada de 1,146 metros.

243 »IV. Un esperimento semejante se ha hecho en este año para medir el agua del Tíber, escogiendo un trecho rectilíneo y bastante regular de este rio entre Ponte-Molle y su entrada en Roma. Se verificó el 19 de junio de 1821, hallándose la superficie del agua del Tíber 1,17 metros sobre la línea de la última grada del Passo-Porto de Ripetta, esto es 0,73 de metro sobre la superficie del agua en la mayor menguante. Las diligencias hechas para preparar y continuar el esperimento y todos los cálculos de los que se infiere la determinacion de la masa total del agua del rio, se refieren muy por menor en la Relacion que se da aparte (1). Aquí bastará indicar que la seccion média del trecho elegido se halló de 218,779 metros cua-

---

* En esto tiene razon el Autor y debía haberse medido diferentes veces el mencionado declive, y haberse tomado un término medio entre todos los resultados.

** Por lo que aquí se advierte, la misma incertidumbre hay en la medida que da por declive 0,0001415, como en la que da 0,0000996, y en caso de duda, yo juzgo que se debe preferir el declive dado por la esperiencia inmediata, que es el 0,0001415.

(1) Es la que hemos puesto §§ 213 al 223.

drados; su contorno bañado por el agua fué de 76,72 metros; de donde el radio medio $D=2,852$ *. Buscada con esquisito nivel la inclinacion de la superficie del agua, se halló caer 0,032 metros en la longitud de 245 metros; y da aquí cos.ϕ=0,0001306. Con estos datos la fórmula de *Eytelwein* da la velocidad media 0,977 de metro. Por otra parte la suma total del agua de la seccion, calculada por el movimiento de las astas, presentó 244,0554 metros, como se manifiesta en la Relacion; y dividiéndola por la seccion media, da la velocidad media efectiva =1,115 metros **.

«Aquí la velocidad observada excede á la velocidad calculada en cerca de un doce por ciento. Mas esta diferencia se quiere atribuir á defecto de la observacion, que no puede evitarse del todo cuando se mide con las astas ritrométricas; las que, no pudiendo hacerse tan largas que lleguen hasta el fondo, dejan fuera aquella parte de la seccion donde es mas tardía la velocidad, por estar cerca los impedimentos. Ahora, la velocidad del asta no representa justamente la velocidad media de la perpendicular, sinó mas bien una velocidad algo mayor que la media. Despues de esto, la suma total del agua y la velocidad media de la seccion entera, calculada segun el esperimento, debe salir mayor que lo que es realmente. El esceso debe ser tanto mas grande cuanto es mayor el decremento de la velocidad en las partes inmediatas al fondo, y este decremento, en el caso nuestro, era bastante notable, como se manifiesta por varios esperimentos que oportunamente se han hecho para pruebas y que pueden verse en la Relacion tantas veces citada."

244 Despues siguen manifestando la formacion de la tabla para facilitar el uso de la fórmula de *Eytelwein*, que nosotros omitimos, por ser inútil para nuestro objeto; y terminarémos poniendo la siguiente tabla ó *prospecto*, como espresan dichos Autores, que ya se ha citado, y añadiendo la última columna en la que ponemos los resultados que ha obtenido *Mr. Prony* para los mismos experimentos, y que nosotros estraemos de la tabla 2.ª de su *Coleccion*, *etc.*

* Este resultado está conforme con los datos del Autor, pues dividiendo 218,779 por 76,72 resulta con efecto para el radio medio 2,852: pero como el dato 218,779 no es exacto, se deberá tener en consideracion lo que esponemos (§ 256 y siguientes).

** V. (§§ 258 y 260) la que resulta despues de hechas todas las correcciones.

Ademas, el cociente de dividir 244,0554 metros cúbicos por 218,779 metros cuadrados que sacan dichos Autores para la seccion media, resulta 1,1155 metros para la velocidad media, que aproximándola por la regla general de añadir al último guarismo una unidad cuando el primero que se desprecia es 5 ó mayor que 5, deberíamos poner 1,116 mas bien que 1,115.

Sigue la tabla anterio

Observadores.	N.°	Seccion en *metros cuadrados.*	Perímetro en *metros.*	Ra d m
Funk........	51	304,3721	114,85	2
Brünings.	52	1540,0777	514,32	2
	53	447,2527	169,45	2
	54	1884,2322	369,03	5
	55	690,9670	186,71	3
	56	283,1025	99,16	2
Funk........	57	221,2631	136,19	1
	58	336,6704	117,05	2
Brünings.	59	473,6428	227,19	2
	60	1115,4731	313,49	3
	61	1243,6816	240,06	5
	62	2601,7860	524,05	4
Funk........	63	364,3406	119,71	3
	64	730,1583	180,43	4
	65	388,5643	121,13	3
	66	491,4659	199,58	2
Brünings.	67	708,0025	186,08	3
Funk........	68	265,5747	141,84	1
	69	185,8137	116,42	1
	70	416,2345	122,05	3
	71	217,3735	105,53	2
	72	627,5521	201,74	3
	73	474,4307	128,88	3
	74	296,0022	145,60	2
	75	494,4794	130,07	3
	76	250,1641	110,61	2
	77	547,1510	141,68	3

á cuya cabeza se pone *Divario*, el número 0,008, que es precisamente la diferencia que resulta de restar de la velocidad observada 1,366 la velocidad calculada 1,358, casi me llegué á persuadir de

PROSPECTO

de los esperimentos hidrométricos confrontados con la fórmula de Eytelwein (y nosotros le añadimos la columna once, que contiene las velocidades medias calculadas por la fórmula de Prony).

OBSERVADORES.	N.º	Seccion en *metros cuadrados.*	Perímetro en *metros.*	Radio medio = D en *metros.*	Declive = cos. φ en *Diez millonésimas.*	Producto D × cos. φ en *Diez millonésimas de metro.*	Velocidad observada en *metros.*	Velocidad calculada por la fórmula de Eytelwein en *metros.*	Divario (v. §§ 245 al 248) Vel. obs. − Vel. calc. / Vel. obs.	Velocidad calculada por la fórmula de Prony en *metros.*
Dubuat....	1	0,0505	0,68	0,074	1077	80	0,124	0,118	0,048	0,104
	2	0,1137	0,95	0,119	1077	128	0,154	0,157	−0,018	0,144
	3	4,4872	8,77	0,512	362	185	0,197	0,194	0,011	0,179
	4	5,4037	9,12	0,592	362	214	0,211	0,211	0,000	0,201
	5	0,0153	0,37	0,041	5787	239	0,242	0,225	−0,071	0,216
	6	0,0258	0,58	0,045	7082	316	0,249	0,263	0,056	0,256
	7	5,7568	9,20	0,625	458	286	0,260	0,249	0,042	0,241
	8	0,0252	0,46	0,055	5787	317	0,263	0,263	0,000	0,256
Wolttmann	9	2,8092	5,19	0,541	666	361	0,281	0,282	−0,006	
	10	2,2260	4,81	0,462	858	397	0,281	0,298	−0,060	
Dubuat....	11	0,0269	0,47	0,057	5787	328	0,310	0,268	0,135	
Wolttmann	12	0,5802	2,87	0,202	2187	443	0,320	0,316	0,011	
Dubuat....	13	0,0379	0,63	0,060	7082	427	0,327	0,310	0,052	0,306
	14	8,7216	9,91	0,880	868	764	0,329	0,425	−0,292	
	15	0,0308	0,51	0,061	5787	352	0,334	0,279	0,165	0,273
	16	0,0253	0,57	0,044	10764	473	0,367	0,329	0,103	0,326
	17	22,6410	15,38	1,472	303	446	0,368	0,318	0,136	0,315
	18	0,0558	0,71	0,079	7082	560	0,384	0,360	0,062	0,360
	19	0,0775	0,80	0,098	7082	695	0,421	0,404	0,040	0,401
	20	7,6740	9,74	0,787	651	513	0,426	0,343	0,194	0,341
Wolttmann	21	0,9842	3,15	0,312	2083	650	0,430	0,390	0,040	
Dubuat....	22	29,0395	16,35	1,776	279	496	0,432	0,337	0,220	0,336
	23	11,9062	10,88	1,094	1121	1226	0,472	0,547	−0,160	
	24	0,0199	0,41	0,048	23419	1126	0,495	*0,523*	*−0,056*	*0,536*
	25	0,0253	0,57	0,044	21834	959	0,548	0,480	0,124	0,490
	26	0,0288	0,49	0,059	23419	1376	0,549	0,581	−0,057	0,599
	27	0,0369	0,55	0,067	23419	1569	0,606	0,623	−0,029	9,644
Funk........	28	0,0256	0,88	0,029	108342	3157	0,633	0,896	−0,416	
Dubuat....	29	0,0413	0,58	0,070	23419	1664	0,637	0,642	−0,008	0,665
	30	0,0611	0,70	0,087	24271	2108	0,735	0,727	0,018	0,757
	31	0,0138	0,35	0,039	47169	1841	0,745	0,677	0,091	0,703
	32	0,0723	0,76	0,095	23148	2190	0,766	0,741	0,033	
	33	0,0632	0,74	0,086	21834	1870	0,766	0,683	0,108	0,709
Brünings.	34	114,3242	91,00	1,256	2028	2548	0,771	0,802	−0,041	
Dubuat....	35	0,0738	0,77	0,096	23148	2212	0,772	0,745	0,035	0,777
Funk........	36	76,5115	111,71	0,685	4500	3083	0,772	0,885	−0,147	0,773
Dubuat....	37	0,0371	0,80	0,046	47169	2190	0,783	0,742	0,053	0,814
	38	0,0876	0,84	0,104	23148	2412	0,816	0,780	0,045	
	39	0,0924	0,86	0,107	23148	2478	0,855	0,791	0,075	
Dubuat....	40	28,4527	16,27	1,749	1559	2726	0,860	0,831	0,034	
	41	0,0958	0,88	0,109	23148	2522	0,863	0,798	0,076	0,834
	42	0,0991	0,89	0,111	23148	2566	0,880	0,806	0,085	0,842
Brünings.	43	205,7047	92,88	2,215	1492	3304	0,917	0,923	−0,006	
	44	1250,8700	329,80	3,793	1105	4191	0,918	1,038	−0,130	
	45	566,4021	181,06	3,128	1256	3929	0,938	1,004	−0,071	
Dubuat....	46	23,0754	15,40	1,498	1653	2476	0,950	0,791	0,168	0,826
Brünings.	47	435,1409	185,14	2,350	1717	4035	1,975	1,019	−0,045	
Funk........	48	277,5881	126,12	2,201	1915	4215	1,011	1,036	−0,024	
	49	179,0192	130,54	1,371	5032	6901	1,035	1,341	−0,295	
Brünings.	50	304,0761	108,89	2,792	1492	4166	1,039	1,034	0,004	

[...]dio medio = D en [...]etros.	Declive = cos. φ en *Diez millonésimas.*	Producto D × cos. φ en *Diez millonésimas de metro.*	Velocidad observada en *metros.*	Velocidad calculada por la fórmula de Eytelwein en *metros.*	Divario (v. §§ 245 al 248) Vel. obs. Vel. calc. / Vel. obs.	Velocidad calculada por la fórmula de Prony en *metros.*
,650	2494	6609	1,057	1,312	−0,240	
,994	1321	3956	1,092	1,007	0,077	
,639	2201	5809	1,122	1,228	−0,094	
,106	1105	5642	1,210	1,210	0,000	
,701	1256	4648	1,218	1,095	0,101	
,855	2028	5790	1,225	1,225	0,000	
,625	5032	8175	1,226	1,463	−0,193	
,876	2494	7174	1,239	1,368	−0,104	
,085	1717	3580	1,274	1,276	−0,001	
,558	1256	4469	1,293	1,047	0,191	
,181	1256	6507	1,299	1,302	−0,002	
,965	1321	6559	1,304	1,306	−0,002	
,043	2494	7590	1,337	1,408	−0,053	
,047	1915	7749	1,417	1,423	−0,004	
,208	2494	8000	1,450	1,446	0,093	
,462	3076	7575	1,467	1,390	0,052	
,805	2201	8374	1,474	1,572	−0,067	
,872	5032	9422	1,490	1,481	0,007	
,596	4500	7182	1,502	1,369	0,089	
,412	2494	8508	1,506	1,493	0,009	
,060	5503	11335	1,509	1,728	−0,145	
,111	3076	9568	1,575	1,585	−0,006	
,681	2494	9181	1,597	1,552	0,028	
,033	5032	10230	1,600	1,640	−0,025	
,802	2494	9481	1,608	1,578	0,019	
,262	5503	12445	1,626	1,812	−0,114	
,862	2494	9631	1,663	1,590	0,044	

metros cuadrados que sacan dichos Autores para la seccion media, resulta 1,1155 metros para la velocidad media, que aproximándola por la regla general de añadir al último guarismo una unidad cuando el primero que se desprecia es 5 ó mayor que 5, deberíamos poner 1,116 mas bien que 1,115.

En cuanto acabamos de esponer se nota que los Autores de los anteriores escritos, dotados de aquella moderacion que es propia de los hombres verdaderamente sabios, desconfian de los resultados que han obtenido ellos mismos, atribuyendo las diferencias que encuentran entre los que da la fórmula de *Eytelwein*, mas bien á los errores que son inevitables en todas las observaciones, que á ser defectuosa ó inexacta la misma fórmula de *Eytelwein*.

Sin embargo, por laudable que sea esta moderacion, no debemos jamas de perder de vista que el objeto que nos proponemos, es averiguar la verdad, discutir los esperimentos, comparar los resultados de la observacion, tal cual nos la presenta la naturaleza, con los de la teoría, é indagar despues la causa verdadera de las anomalías que se observan. Por esta razon, vamos nosotros á comparar el resultado de la esperiencia con los que dan las fórmulas de *Mrs. Eytelwein* y *Prony* y la *mia*, deducida tomando para el valor de las constantes los términos medios entre los valores que tienen dichas constantes en las ecuaciones de estos dos Sabios, y teniendo en consideracion la variacion de la fuerza de la gravedad, aplicándolas á los mismos esperimentos hechos en Italia, para deducir con toda imparcialidad las consecuencias que convengan; pues de este modo lograrémos perfeccionar este ramo tan importante y necesario en las aplicaciones á la Agricultura, Industria, Comercio, etc., etc.

245 Al referir los esperimentos hemos indicado por notas, que hay erratas de imprenta, yerros de cálculo y equivocaciones. Pero ahora debemos llamar ademas la atencion acerca de lo que espresan los números que están en la columna cuya cabeza es *Divario*.

Esta palabra no se halla en ningun diccionario *italiano-español*; pero en el de la Academia de Florencia, conocido por el nombre de la *Crusca*, se ponen como equivalentes de dicha palabra *Variettá*, *Differenza*, esto es *variedad* ó *diferencia*. Esta es la idéa que dicha palabra debe espresar; mas por el contexto de lo que dicen los expresados Autores no se deduce con claridad. En un principio nos pareció que los números contenidos en dicha columna espresaban la diferencia entre la velocidad calculada y la observada: contribuyendo para esto el que, como los esperimentos que llamaron mas particularmente nuestra atencion son los hechos en Italia, y justamente el 92, que es el que entre ellos ocupa el primer lugar, tiene en la columna á cuya cabeza se pone *Divario*, el número 0,008, que es precisamente la diferencia que resulta de restar de la velocidad observada 1,366 la velocidad calculada 1,358, casi me llegué á persuadir de

que los números de dicha columna debían espresar sencillamente la diferencia entre la velocidad observada y la calculada; pero habiendo encontrado muy pocos que sean exactos ó se aproximen como el 0,001 del esperimento 94, que solo le falta una milésima y se podía atribuir al modo de efectuar la aproximacion, me fué indispensable rectificar todos los datos, haciéndome cargo de que dicha inexactitud puede atribuirse á tres causas: 1.ª á que esté equivocada la velocidad que se dice observada; 2.ª á que esté equivocada la velocidad que se espresa ser la calculada; y 3.ª á que estando bien la velocidad calculada y la observada, se haya cometido equivocacion al encontrar la diferencia. Tambien llegué á recelar que, en lo general de la espresada tabla ó prospecto, pudiese provenir esta inexactitud de que en la tabla V.ª de la Memoria de *Eytelwein* se espresan los resultados de los esperimentos de *Dubuat* en pulgadas de París, los de *Brünings* en pies del Rhin y los de *Wolttmann* en pies de Hamburgo, y que no se haya hecho la competente reduccion, ó que se haya hecho mal; pero como en los esperimentos desde el 92 en adelante no se puede atribuir á esta causa, porque estos cálculos no los ha hecho *Eytelwein*, sinó los Autores italianos, solo me faltaba examinar las tres causas mencionadas.

246 Por esta razon, investigué si los resultados que se insertan en el prospecto (§ 244) van conformes con los de la esposicion ó narracion; y no hallé mas diferencia sinó que en el esperimento 98, la seccion en el cuerpo de la obra se dice que es 1899,16, y en el prospecto se pone 1899,14; lo cual no influye en el resultado.

247 Pasé despues á examinar si la equivocacion estaría en haber cometido algun descuido al calcular las velocidades por la fórmula de *Eytelwein*; y me propuse encontrarlas directamente. Pero con el objeto de asegurarme todavía mas, traté de examinar si la fórmula de *Eytelwein* que ponían los Autores italianos estaba conforme con la inserta en la Memoria traducida del aleman por *Mr. le Jeune Dirichlet* impresa en París en 1826, teniendo en consideracion que *Mr. Eytelwein* señala por g el espacio que corre un cuerpo en el primer segundo de su caida, que es la mitad de lo que los Autores italianos, Prony, yo, y como se acostumbra en todos los tratados de Mecánica, llamamos fuerza de la gravedad y señalamos por g; y hallé que la fórmula O (§ 231) es exacta. Y suponiendo despues á g el valor de 9,8088 metros, que es la gravedad que se supone corresponder á París, pues *Mr. Eytelwein* procede en el concepto equivocado, segun nuestro modo de ver, de no influir la variacion de la

fuerza de la gravedad, resulta en efecto que la fórmula (*P*) del mismo párrafo es tambien exacta.

248 Previo este convencimiento, hemos calculado por ella la velocidad media correspondiente á los esperimentos hechos en Italia insertos en dicha tabla ó prospecto, desde el 92 inclusive en adelante; y hemos obtenído 1,351 metros para la velocidad calculada por dicha fórmula de *Eytelwein* en el esperimento 92. Los Autores italianos ponen 1,358; luego estos ponen 7 milésimas de mas. De donde resulta que el 0,008 que ponen en la columna última no es la diferencia entre la velocidad observada y la calculada por la fórmula de *Eytelwein*, pues segun nuestro resultado, que parece no dejar duda de que es exacto, en atencion á que lo hemos hecho tres personas diferentes, debería ser 0,015.

En el esperimento 93, sacamos nosotros 1,565; ellos sacan 1,566; por lo que solo tenémos úna milésima de diferencia, que no es de consideracion.

Para el esperimento 94 nosotros sacamos 1,693; y los Autores italianos sacan 1,690.

En los esperimentos 95, 96, 97, 98 y 99 sacamos exactamente por la fórmula (*P*) de *Mr. Eytelwein* los mismos resultados que los espresados Autores italianos. Por lo cual debíamos inferir que era otra la causa de la discordancia de los números de dicha columna que tiene por cabeza *Divarío.* Y despues de varias tentativas y reflexiones, hemos venido á descubrir que los números, contenidos en dicha columna, espresan por lo general, *la diferencia relativa de la velocidad observada y la calculada*, *comparándola con la observada*; es decir, que *dichos números espresan el cociente que resulta de dividir la diferencia que se obtiene*, *restando de la velocidad observada*, *la calculada*, *por la velocidad observada.* En efecto, comprobamos desde luego este aserto con algunos resultados; pero no verificándose respecto de otros, nos tomamos la molestia de hacer la verificacion de todos; y encontramos que es exacta esta interpretacion que le damos en 59 esperimentos, y deja de serlo en 40, que son los siguientes: el 2, 3, 5, 9, 12, 16, 18, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 34, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 59, 60, 65, 67, 68, 80, 81, 83, 90 y 92.

Los valores negativos resultan cuando la velocidad calculada es mayor que la observada, y solo hemos hallado equivocacion en el esperimento 5, en el que, siendo la velocidad observada mayor que la calculada, atendiendo á la ley general, su diferencia debería ser po-

sitiva y el Autor la designa como negativa. Y en el esperimento 6 la velocidad calculada es mayor que la observada; por lo que debería ser negativa la diferencia, y el Autor la pone positiva, lo cual parece no dejar duda de ser un error material de imprenta el haber puesto el signo negativo una línea mas alto.

249 Encontrado ya el significado de los números de dicha columna, aunque con tantas inexactitudes, el deséo natural de todo el que emprende una investigacion, es el ver si los resultados van conformes con la esperiencia; por lo que yo traté de calcular dichos resultados por mi fórmula ((91) § 165); pero entre una riqueza tal de esperimentos, solo hallé el 99 que tuviese los datos necesarios.

En efecto, de todo cuanto hemos examinado relativo á tan importante materia, este es el único esperimento en que hemos visto se han tomado las precauciones convenientes al acierto; pues aunque se ha procedido tambien en el supuesto equivocado de no influir la variacion de la fuerza de la gravedad, sin embargo, se hacen todas las indicaciones para poderla determinar por mi método (§ 5). Efectivamente, por la nota del párrafo 216 consta que la última grada del *Passo-Porto de Ripetta* se halla 7,66 metros mas alta que el nivel del mar en aguas bajas; y como la superficie del agua en el instante del esperimento estaba 1,17 metros mas baja que el piso de dicha última grada, resulta que la superficie del agua en el parage y dia del esperimento, se hallaba 6,49 metros (23 pies españoles) mas alta que la superficie del mar en aguas bajas.

250 El parage del esperimento se halla bastante bien determinado; pues se dice (§ 213) que es "inmediato á Roma en el intérvalo entre Ponte-Molle y la entrada del rio en la ciudad." Y como en el *Conocimiento de tiempos* se halla que la latitud de Roma, tomada respecto del Colegio Romano, es 41° 53′ y 54″; y de la comparacion de varios mapas topográficos, resulta que el parage del esperimento debe hallarse como 1′ y 6″ mas al norte que dicho Colegio Romano, se infiere que podrémos fijar con una aproximacion bastante racional, que la latitud del parage del esperimeuto es 41° y 55′ norte. Con este dato y la altura sobre el nivel del mar que es 6,49 metros (23 pies españoles), cualquiera podrá calcular la fuerza de la gravedad que corresponde á dicho punto, en virtud de lo espuesto (§ 5) y hallará, como nosotros lo hemos hecho, que dicha fuerza es allí 35,1118 pies españoles ó 9,7834 metros.

Consta por el (§ 216) que, durante el esperimento, el dia estaba sereno, no reinaba viento alguno, y que en el rio no hubo variacion

sensible; ademas, por el esperimento XIII (§ 218) se examinó la velocidad á poca distancia de la superficie; y por el XIV, la velocidad en la misma superficie; y que por último se determinó la inclinacion pendiente ó declive de la superficie del agua en el parage del esperimento. Por consiguiente se reunen casi todas las circunstancias que hemos espresado en los últimos párrafos del libro 2.º deben tenerse en consideracion al practicar estos esperimentos; puesto que solo faltaba espresar cual era la temperatura.

251 Teniendo pues en este esperimento cuantos datos se necesitan para aplicarle mi fórmula ((91) § 165), lo ejecuté inmediatamente, sustituyendo en ella por g, el valor 35,1118 pies españoles hallado para la fuerza de la gravedad en el parage del esperimento segun acabamos de espresar; por R el valor 10,2355 pies españoles á que equivalen los 2,852 metros que ponen dichos Autores Italianos en su prospecto como valor del radio medio, y por I la pendiente, inclinacion ó declive que dichos Autores espresan por 0,0001306; y ejecutando el cálculo, hallé por la espresada fórmula ((91) § 165) que la velocidad media era de 3,7152 pies españoles por segundo, que equivalen á 1,035 metros. La observada, segun los espresados Autores, es 1,115; por lo cual resulta que la que da mi fórmula contiene 0,080 de ménos; lo cual equivale muy próximamente ó un error de $\frac{1}{14}$; lo que no es de mucha consideracion, pues viene á ser un 7 por 100 del resultado de la esperiencia.

La fórmula ((P) § 231) de *Mr. Eytelwein* da, segun el cálculo de dichos Autores, que va conforme exactamente con el nuestro, 0,977 de metro para la espresada velocidad media; y siendo la observada 1,115 metros, resulta que la fórmula de *Mr. Eytelwein* da 0,138 de ménos; lo cual equivale á cerca de $\frac{1}{8}$ de la velocidad observada, y viene á ser un 12 por 100 del resultado de la observacion, que es un error casi duplo del que da mi fórmula.

252 Nosotros hemos añadido al prospecto de los Autores Italianos la última columna en que se hallan los resultados de *Mr. Prony*, segun este Sabio la inserta en la última columna de la tabla 2.ª de su *Coleccion de cinco tablas* &c. Pero como *Mr. Prony* no ha calculado ninguno de estos esperimentos de Italia, deseando yo investigar cual de las fórmulas da mayor aproximacion, traté de calcular el citado esperimento 99 por la fórmula

$U = -0{,}0718523 + \sqrt{0{,}00516275 + 3232{,}96 \times R \times I}$ inserta en el *Tableau* número 3 de su obra intitulada *Recherches Phisico-Ma-*

thématiques &c. de la cual viene á ser un estracto la *Coleccion de sus cinco tablas* &c.

Sustituyendo en esta fórmula 2,852 en vez de R, y 0,0001306 en vez de I, resulta 1,028 para la velocidad media; y como la observada es 1,115, se ve que á la de *Mr. Prony* le faltan 0,087 para la velocidad observada; lo cual viene á ser $\frac{1}{13}$ del resultado de la esperiencia, y equivale á $7\frac{2}{5}$ por 100 de la velocidad observada.

253 Todo lo dicho hasta aquí me obliga á creer que mi fórmula es la que da el valor mas aproximado á la esperiencia. Si mi objeto fuese únicamente el hacer alarde de mi trabajo, acaso yo hubiera terminado aquí mis investigaciones, pues que mi amor propio parece quedar lisongeado, al ver que en el único esperimento que consta haberse verificado con arreglo á todos los principios convenientes, mi fórmula es la mas exacta; pero como yo no tengo mas objeto que promover el bien general, aclarando un punto de tanta importancia y que tan grandes dificultades presenta, en vez de contentarme con esta estéril satisfaccion, me ha estimulado esto mas para examinar con mayor detenimiento cuantas circunstancias han podido influir en este resultado. Por esta causa, voy á entrar ahora en el escrupuloso exámen de cuantos yerros de imprenta ó equivocaciones de cálculo he notado en el espresado esperimento, de que ya tengo hecha indicacion en las notas de los (§§ 219, 222, 223, y 243).

254 La primera que advertimos en la columna 2.ª del *Schema* ó tabla (§ 223) es que el valor 3,09 que se pone correspondiente á *Cc* no está exacto; pues debe ser el término medio entre la profundidad en C, que es 3,26 y la profundidad en c que es 3,09; cuyo término medio resulta ser 3,175; por manera, que ó los valores que se ponen correspondientes á las profundidades en el (§ 218) no son exactos, ó si lo son, este valor correspondiente en el *Schema* no lo está, pero nosotros preferirémos y nos atendrémos siempre á los primeros, por ser ménos fácil equivocarse en una sola medida, que no en operaciones ejecutadas con diferentes cantidades. De todo lo cual se deduce que el número 3,09 que se pone correspondiente á *Cc*, debe ser 3,175. De aquí resulta que el número 3,08, que se pone en la 3.ª columna, como término medio entre 3,07 y 3,09 deberá ser 3,1225, que es el término medio entre 3,07 y 3,175. Por consiguiente, el número 16,909, que se pone en la columna 5.ª como producto de 3,08 y 5,49, número

de la columna 4.ª debe ser el producto de 5,49 por 3,1225; lo que da 17,143.

En todos los demas valores de la columna 2.ª, cuyos cálculos hemos hecho, no se ha encontrado mas equivocacion.

255 En la columna 3.ª, que tambien hemos verificado, solo hay la equivocacion ya citada, á saber: que el tercer valor 3,08 debe ser 3,175.

En la columna 4.ª rectificada tambien, hemos obtenido, que el 8.º valor á saber, 10,155 no es exacto; pues debiendo ser el término medio entre los valores de *GH* y *gh*, que son 10,22 y 10,07, su término medio debe ser 10,145. De donde resulta que el número 40,417 que se pone en la columna 5.ª como producto de 3,98 por 10,155, debe ser 40,377, producto de 3,98 por 10,145.

En la misma columna 4.ª el último valor 8,45 no es exacto; pues debe ser 8,5, término medio entre 10,37 y 6,63. Y multiplicando esta cantidad por 2,24, valor correspondiente de la columna 3.ª, resulta 19,040 y no 18,928 que se pone en la columna. 5.ª

256 Todos los valores de la columna 5.ª estan exactos con relacion á los datos que pone el Autor, pues hemos verificado estos productos; pero la suma que ponen, con arreglo á sus datos, está equivocada, pues debe ser 238,779; y como ponen 218,779, resulta que esta suma tiene 20 unidades ménos de lo que corresponde.

257 Despues de haber hecho los cálculos relativos á las columnas 6.ª, 7.ª y 8.ª hemos advertido que el Autor pone todos los resultados de dichas columnas aproximados por defecto; lo cual debe originar en la columna 8.ª errores ya de consideracion. Por esta causa, nos hemos tomado el trabajo de calcular directamente los valores de las tres espresadas columnas 6.ª, 7.ª y 8.ª, limitándonos á tres guarismos decimales, como hacen dichos Autores; pero tomando el último guarismo aproximadamente segun se acostumbra omitiendo el cuarto si no llega á 5, y añadiendo en vez de él, una unidad al tercero, si el cuarto guarismo decimal fuese 5 ó mayor que 5, y el resultado de todos nuestros cálculos se halla en la adjunta

Tabla en que se presentan rectificadas las columnas 5.ª, 6.ª, 7.ª y 8.ª del *Schema* ó tabla (§ 223).

5.ª	6.ª	7.ª	8.ª
	0,000		
7,916	0,556	0,556	4,4013
13,296	0,769	0,663	8,8152
17,143	1,053	0,911	15,6173
10,800	1,017	1,035	11,1780
27,573	1,091	1,054	29,0619
23,705	1,200	1,146	27,1659
24,108	1,111	1,156	27,8688
40,377	1,176	1,144	46,1913
13,015	1,111	1,144	14,8892
6,110	1,111	1,111	6,7882
26,491	0,984	1,048	27,7626
9,511	0,845	0,915	8,7026
19,040	0,845	0,845	16,0888
239,085.			244,5311.

258 Dividiendo la suma de la columna 8.ª que es 244,5311 por la de la columna 5.ª que es 239,085, nos resulta por cociente 1,0228 que espresará la velocidad media; y apreciando solo tres guarismos decimales, como hace el Autor, y añadiendo una unidad al 2 en vez del 8 que hay en el cuarto guarismo decimal, resulta 1,023 para dicha velocidad media.

Y siendo el resultado de la de *Mr. Prony* 1,028, vemos que solo se diferencia del que acabamos de sacar por la observacion en 5 milésimas: lo cual viene á ser $\frac{1}{205}$ del observado.

El resultado que da mi fórmula, es 1,035, que se diferencia del observado en 12 milésimas, que equivale á $\frac{1}{85}$ del valor obtenido por la observacion.

Y dando la fórmula de *Mr. Eytelwein* 0,977, resulta que le falta para el verdadero valor 0,046, que viene á ser $\frac{1}{22}$ del observado.

Por manera, que en este caso el resultado de *Mr. Prony* es el que mas se acerca; pues da un error que es como unas dos veces y media menor que el que da mi fórmula, y unas nueve veces menor que el que da la fórmula de *Mr. Eytelwein*.

259 Pero aun no hemos tenido en consideracion dos circunstan-

cias que la una hace dudar del verdadero resultado que da la esperiencia, y la otra hace incierto el resultado de las fórmulas.

La que hace dudoso el resultado de la esperiencia es la que hemos indicado (nota del § 219) á saber: que al calcular la cantidad de agua de las secciones triangulares estremas, los Autores Italianos han tomado por velocidad media la que corresponde al lado vertical del triángulo; y como es un hecho que nadie duda, el que la velocidad va disminuyendo, á proporcion que el agua se aproxima á la orilla, resulta que dichos Autores notoriamente han tomado un valor para dicha velocidad que excede al verdadero; y deseando nosotros presentar bajo todos aspectos el resultado á que puede dar orígen este esperimento, por ser entre los 99, el único en que se hallan todos los datos necesarios, hemos juzgado indispensable modificarle con arreglo á esta circunstancia. En lo que no hay duda, es en que la velocidad correspondiente á cada seccion triangular; es menor que la que toman dichos Autores; pero en lo que puede haber incertidumbre es en determinar cuanto menor debe ser. Mas atendiendo á todas las leyes generales, que obran en esta circunstancia, parece que nos acercarémos mas á la verdad, tomando por velocidad media, no la velocidad máxima, que es la del lado vertical del triángulo, sinó la que corresponde al filete que pasa por su centro de gravedad; y en esta hipótesis vamos á entablar nuestro cálculo. En efecto, la distancia media de lo que distan de la orilla los puntos A,a, es 6,16; y como el centro de gravedad dista de la base del triángulo la tercera parte, se tendrá que distará 2,05 del punto A; y por lo mismo nosotros lo representamos por k (fig. 43); y suponiendo que la diminucion de la velocidad, aproximándose á la orilla, guarde la misma ley que en lo demas de la seccion del rio, resultará que pues la velocidad en correr Aa, es 0,555, y la velocidad con que se corre la Bb es 0,769 cuya diferencia es 0,214, tendrémos que como esta diferencia corresponde á una distancia AB de 4,08 metros, para encontrar la diminucion que haya sufrido la velocidad en el centro de gravedad k del triángulo, suponiendo la misma ley en el decremento, podrémos formar aproximadamente la siguiente proporcion

4,08 (distancia horizontal entre los puntos A y B) : 0,214 (diferencia entre la velocidad en correr la Bb y la Aa) : : 2,05 (distancia horizontal entre el centro de gravedad del triángulo, que se proyecta en el punto k de la línea PBA) : al cuarto término, que resulta ser 0,108, este es el decremento que corresponde á la velocidad, para la distancia kA; y restando esta cantidad de

la velocidad 0,555 con que se corre la *Aa*, se tendrá 0,447.

Luego tenemos que la cantidad de agua que puede pasar por la seccion triangular correspondiente al estremo *A*, caminará con una velocidad media de 0,447 de metro. El triángulo, que se forma en la orilla próxima al punto *A*, tiene en efecto por superficie media 7,916 metros cuadrados; por consiguiente, multiplicando esta cantidad por 0,447, velocidad que hemos hallado para el centro de gravedad, se tendrá 3,5385 metros cúbicos. El Autor pone 4,3934; luego pone de mas 0,8549 de metro cúbico; por lo que deberíamos restar esta cantidad de la suma de la columna de su *Schema*. Pero como lo que ahora nos proponemos es rectificar todo el esperimento, atendiendo á cuantas inexactitudes hemos notado, deberémos comparar este número 3,5385 con el 4,4013, que es el valor rectificado que ponemos en dicha columna (§ 257). Restando pues el 3,5385 del 4,4013, obtenemos 0,9628 de metro cúbico de mas; cuya cantidad la deberémos tener en consideracion para restarla de la suma de dicha columna 8.ª

260 Pasemos ahora á considerar lo que resulta por el triángulo que se forma en la orilla próxima al punto *P*; y tendrémos que sumando los valores 6,63 y 10,37 que representan (fig. 43) las distancias de *P* y *p* á la orilla, nos resultará 17,00 cuya mitad es 8,5 y representará el ancho medio de la seccion triangular correspondiente á esta orilla.

La profundidad en *P* es 4,92; la en *p* es 4,04; su suma es 8,96; y su mitad 4,48, que representará la velocidad media de la espresada seccion triangular; y como para encontrar la superficie del triángulo, se multiplica la base, que debe ser el ancho medio, por la mitad de la profundidad media, que es la altura del triángulo, deberémos multiplicar 8,5 por la mitad de 4,48 que es en efecto los 2,24 que se ponen en la columna 3.ª Practicando pues la multiplicacion de 8,5 por 2,24, resulta 19,040; y como en la columna 5.ª del *Schema* se ponen 18,928, resultan de ménos 0,112 de metro cuadrado, que se deberán tener presentes. Este error produciría en la columna 8.ª del *Schema* otro que tambien se debería tener en consideracion; pero en la columna 5.ª ya corregida por nosotros, no tenemos que alterar nada; pues se halla en ella el mismo número 19,040 para la superficie de dicho triángulo; pero en vez de multiplicar este número por 0,845, velocidad de la base del triángulo, deberémos multiplicarle por la velocidad que corresponde á su centro de gravedad.

Para determinar esta velocidad, observarémos que la velocidad media en la línea *Pp* es 0,845; y la que ahora debemos averiguar es la velocidad media que corresponde al centro de gravedad del triángulo que debe hallarse á la tercera parte de la distancia media entre las de *P* y *p* á la orilla, esto es, al tercio de 8,5, que es 2,833 metros. Para encontrar el decremento de velocidad que le corresponde, formarémos esta proporcion 2,54 metros (que es la distancia *OP*) : 0,138 (diferencia de las velocidades con que se corren las *Oo*, *Pp*) : : 2,833 (tércio del término medio entre las distancias de *P* y *p* á su orilla) : al decremento de la velocidad que buscamos, y resulta ser 0,1539. Por consiguiente, debemos restar esta cantidad de la 0,845, y obtendrémos que la velocidad correspondiente al centro de gravedad será 0,6911 de metro.

Multiplicando 19,040 que es la superficie de dicho triángulo, por 0,6911, nos dará 13,1585. Y como en la columna 8.ª de nuestra tabla (§ 257) ponemos 16,0888, resulta que incluimos de mas 2,9303; y reuniendo esta cantidad á la 0,9698 que resulta del otro triángulo, obtendrémos 3,8931 metros cúbicos de mas en nuestra dicha columna 8.ª Y como la suma de dicha columna 8.ª es 244,5311; si restamos de ella la cantidad 3,8931, nos resultará 240,6380 metros cúbicos. Y dividiendo esta cantidad por la superficie de la seccion, que es 239,085 suma de todos los números que se hallan en la columna 5.ª, resultará para la velocidad media en este caso 1,006 metros.

261 La circunstancia que hace incierto el resultado de las tres fórmulas es la siguiente. El radio medio se halla dividiendo la superficie media de la seccion por el perímetro mojado. El perímetro mojado ponen dichos Autores en el prospecto del (§ 243), que es 76,72 metros, y dividiendo por este número la seccion media que ellos ponen ser de 218,779, resulta en efecto por cociente para el radio medio 2,852; pero como la superficie que ellos ponen no es la verdadera con arreglo á sus mismos datos, y la que resulta conforme con estos es la 239,085, que nosotros hemos obtenido, despues de hechas todas las correcciones que hemos notado, resulta que si el perímetro mojado es efectivamente 76,72, y los datos que nos han conducido á nuestras rectificaciones no son erróneos; el verdadero radio medio deberá ser el cociente de dividir 239,085 por 76,72 y resulta ser 3,116.

262 Calculando la fórmula de *Mr. Eytelwein* ((*P*) § 231) con arreglo á este radio medio, se tiene 1,022.

Calculando con arreglo á este radio medio la fórmula de *Mr. Prony* (§ 252) se tiene 1,077.

Calculando mi fórmula ((91) § 165) con arreglo á este radio medio, resulta 1,083.

Donde vemos que, en este caso, la fórmula de *Mr. Eytelwein* es la que mas se aproxima, dando 0,016 de mas, lo cual equivale á $\frac{1}{63}$ del resultado; la de *Mr. Prony* de 0,071 de mas; lo cual equivale á $\frac{1}{14}$ de la dada por la esperiencia, que es un error cuatro veces y media mayor que el que da la de *Mr. Eytelwein*; y finalmente la mia da 0,077 tambien demas; lo cual equivale á $\frac{1}{13}$ de la observada, que viene á ser cerca de cinco veces mayor que el que da la fórmula de *Mr. Eytelwein*.

Luego de los tres diferentes resultados que hemos obtenido para este mismo esperimento, observamos que en el primero, mi fórmula es la mas exacta; en el segundo, la de *Mr. Prony*; y en el tercero, la de *Mr. Eytelwein*, lo cual prueba la poca discordancia de todas.

263 Hemos dicho (§ 251) que este esperimento reunía cuantas circunstancias son necesarias para comparar los resultados de la teoría con los de la esperiencia. En efecto, hemos visto con placer que sus Autores midieron tambien la velocidad en la superficie, pues que por el esperimento XIV resulta que habiendo echado un corcho entre *H* é *I*, corrió los 60 metros en 44''. Por lo que, dividiendo el espacio corrido 60 metros por estos 44'', resultará para la velocidad en la superficie 1,36364 metros. Y determinando, en virtud de esto, la velocidad media, por la fórmula ((76) § 149), nos resultará 1,1278, que tomando solo tres guarismos, y aproximando el último por esceso, como se acostumbra, será 1,128; y comparando con este los resultados de las fórmulas de *Prony*, *Eytelwein* y la *mia*, que hemos comparado con la de los Autores italianos (§ 251), resulta, que el valor 0,977 que da la de *Mr. Eytelwein* contiene de menos 0,151 de metro.

El valor 1,028 que da la de *Mr. Prony* (§ 252) contiene de ménos 0,1 de metro.

Y el resultado 1,035 que hemos obtenido (§ 251) por mi fórmula, tiene de ménos 0,093 de metro.

Donde vemos que mi fórmula es aquí tambien la que mas se aproxima.

264 Comparando con esta misma velocidad media los valores que dan las mismas fórmulas de *Prony*, *Eytelwein* y la *mia*, despues de hechas todas las rectificaciones y enmiendas que hemos ad-

vertido en los cálculos del esperimento, resulta que la de *Mr. Eytelwein* da 1,022, que le faltan para este resultado medio que acabamos de obtener 0,106 de metro.

El resultado de la de *Mr. Prony*, que es 1,077, da de ménos 0,051 de metro.

Y el resultado de la mia, que es 1,083 da de ménos 0,045 de metro.

Donde observamos que el resultado de mi fórmula es tambien en este caso el que mas se aproxima.

265 He aquí el estado á que ha sido elevada esta importante materia, por los esfuerzos reunidos de unos hombres infatigables y celosos, que no han perdonado molestia ni trabajo que pudiese contribuir al bien de los demas. Ellos han consultado á la misma naturaleza, la han seguido en sus procedimientos, la han forzado con sus operaciones, la han sujetado á sus fórmulas, y por último han puesto en el camino á los venideros, para que puedan llevar este asunto al mas alto grado de perfeccion.

Verdad es, que hemos tachado algunas cosas de *errores*, *descuidos*, *inexactitudes*, &c.; pero estas locuciones, si bien se reflexiona, son como espresiones abreviadas, que, en el lenguage de las ciencias exactas, solo quieren decir que todavía falta algo para obtener aquel grado de rigor y precision que debe brillar en todo resultado, para que se pueda caracterizar con el sello de la evidencia, y deje completamente satisfecho nuestro entendimiento. Mas esto en nada disminuye el mérito de unos sugetos tan recomendables, que con su sabiduría y constancia, han conseguido establecer una cierta correspondencia entre la teoría y los hechos; pues las pequeñas diferencias que dejamos anotadas respecto del cálculo y de los esperimentos, aunque sería todavía de desear el que desapareciesen, no vienen á influir esencialmente en el todo de los resultados que se obtienen para la práctica: ántes al contrario, su corta disonancia ó diferencia forma el justo elogio del acierto con que han procedido en sus investigaciones. Por todo lo cual, estamos persuadidos de que llegará un dia en que acabando de perfeccionarse esta doctrina, se oigan con entusiasmo los nombres de *Bossut*, *Dubuat*, *Brünings*, *Wolttmann*, *Funk*, *Girard*, *Prony*, *Eytelwein* y de todos los Autores italianos que hemos nombrado, y que las generaciones venideras les rendirán el tributo de gracias y reconocimiento que se debe á los bienhechores de la humanidad.

CAPÍTULO X.

Resolucion de las principales cuestiones que pueden ocurrir acerca del movimiento de las aguas por encañados ó tubos de conduccion, y de los surtidores.

266 Hemos manifestado (§ 73 lib. 2.°) que la fórmula de que parte *Mr. Prony* para el movimiento del agua en los tubos, suponiendo que corre siempre á caño lleno, y que el tubo es de materia inflexible, ó que la carga de agua no le puede hacer variar de figura sensiblemente, es la ecuacion que en dicho párrafo hemos señalado con (5), y que tiene la forma siguiente, $\frac{1}{4}Dgj=AV+BV^2$ (126); la cual va conforme con los resultados de *Mr. Coulomb*, y podría tomarse desde luego como consecuencia de estos, en vez de inferirse de la feliz combinacion que ha hecho *Mr. Prony* de los principios analíticos mas sublimes con los mas exactos resultados esperimentales.

Dividiendo por g, se obtiene $\frac{1}{4}Dj=\frac{A}{g}V+\frac{B}{g}V^2$ (127); haciendo ahora $\frac{A}{g}=a$ y $\frac{B}{g}=b$, resulta $\frac{1}{4}Dj=aV+bV^2$ (128); y en virtud de 51 esperimentos de los mas selectos, hechos separadamente por diferentes personas, sobre conductos que tenían desde 0,03 hasta 0,5 de metro de diámetro, ó de 1 pulgada á 1 pie y 9 pulgadas españolas de diámetro, y desde 3 metros hasta cerca de 2300 metros de distancia, ó lo que es lo mismo, desde unos 10 pies hasta 8254 pies españoles de longitud, determina los valores de a y de b, de modo que obtiene $a=0{,}0000173314$, $b=0{,}0003482590$; por lo que la ecuacion que él saca, para el movimiento del agua en los tubos de conduccion ó cañerías, es

$\frac{1}{4}Dj=0{,}0000173314V+0{,}0003482590V^2$ (129). En la cual $\frac{1}{4}D$ es el radio medio del tubo; y j es la diferencia de nivel entre el punto de entrada del agua y el de la salida, dividida por la longitud de todo el tubo.

Ahora, como $\frac{A}{g}=a=0{,}0000173314$, y $\frac{B}{g}=b=0{,}0003482590$

nos resultará $A=0,0000173314\times g$; $B=0,00034825 90\times g$; y como el valor que *Mr. Prony* atribuye á g, es 9,808795 metros *, si multiplicamos los segundos miembros de estas ecuaciones por dicho valor de g, nos resultará $A=0,00017$, $B=0,003416$.

Por lo que la (ec. 126) se nos convertirá en $\frac{1}{4}Dgj=0,00017\times V+0,003416\times V^2$ (130); en la cual se halla indeterminada la fuerza de la gravedad g, y por lo mismo nos podrá

---

* Ademas de todas las circunstancias, que ya hemos espresado en tantos y tan repetidos parages para demostrar la necesidad de atender á la variacion de la fuerza de la gravedad, debemos añadir que esta fuerza, de que usa *Mr. Prony*, no es la efectiva, sinó la que se tendría á la latitud de París, en el vacío y al nivel del mar. Y para justificar la exactitud de nuestro procedimiento, al determinar y hacer uso de la gravedad, de tener en consideracion la latitud, la altura del parage sobre el nivel del mar y la fuerza centrífuga, observarémos que la nota (*aa*) que pone *Mr. Navier* en la pág. 87 del primer tomo de la nueva edicion de la *Arquitectura Hidráulica* de *Belidor*, copiada á la letra, dice así:

«En virtud de los resultados que se adoptaron para el establecimiento del nuevo sistema de medidas, la altura de que los cuerpos pesados caerían durante un segundo en el vacío, á la latitud de París y al nivel del mar, es exactamente de 4,904398 metros, que viene á ser 15,0979 pies. La velocidad que la pesantez comunica á los cuerpos en cada segundo de su caida, que se representa comunmente en los cálculos por la letra g, siendo el doble de esta altura, se tiene $g=9,808795$ metros.

»Para conocer despues los valores que toma la cantidad g á diversas latitudes, se tiene la fórmula $g=9,77980+0,05174$ sen.^2L, en la cual L espresa la latitud del lugar contada en grados decimales partiendo del ecuador.

»En fin, si se quiere calcular la diminucion que sufre el valor de g cuando uno se eleva á diferentes alturas sobre el nivel del mar, es necesario acordarse que esta diminucion se verifica en razon inversa de los cuadrados de las distancias al centro de la tierra. El valor medio del radio terrestre es de 6366198 metros.

»Los dos radios terrestres en el ecuador y en el polo, son entre sí como 336 : 335."

Mas adelante en la pág. 102 de la misma obra, pone *Mr. Navier* la nota (*ah*) que copiada á la letra, dice así:

«Está reconocido, al presente, que la intensidad de la pesantez se modifica en los diferentes puntos de la tierra por dos circunstancias, que son la distancia mayor ó menor de estos puntos al centro del Globo, y el valor mayor ó menor de la fuerza centrífuga que resulta de su movimiento de rotacion, fuerza cuyo efecto es disminuir la accion de la pesantez (se verá en la nota siguiente lo que es la fuerza centrífuga). Estas dos causas se reunen para producir en la pesantez, y por consiguiente en la longitud del péndulo que oscila los segundos, yendo del ecuador á los polos, un aumento proporcional al cuadrado del seno de la latitud; y sobre este resultado, y sobre la observacion de la longitud del péndulo hecha en el observatorio de París, están fundadas las fórmulas dadas en las notas (*aa*) y (*af*). La teoría de que están deducidas, se encuentra en la Mecánica Celeste Primera Parte Libro 3.º"

De todo lo cual se deduce que cuanto hemos dicho relativo al esmero

servir para cualquier parage del Globo, sustituyendo en ella en vez de g el valor que le corresponda por su situacion *físico-geográfica* *.

267 Si quisiéramos determinar el valor del declive ó diferencia de nivel, entre los puntos de entrada y salida del agua, despejaríamos la j en dicha ecuacion, y obtendríamos

$$j=\frac{0{,}00017\times V+0{,}003416V^2}{\frac{1}{4}Dg}$$ (131); que, traducida en regla, nos dice: que *para encontrar el declive entre el punto de entrada y salida del agua en un tubo, se multiplique el número* 0,00017 *por la velocidad media, que á esto se añada el producto de* 0,003416 *por el cuadrado de la misma velocidad media, y que se divida esta suma por el producto del radio medio del tubo, que es la cuarta parte del diámetro, por la fuerza de la gravedad.*

Ej. Si quisiéramos determinar el declive ó diferencia de nivel que se debería dar á un depósito para que en la Habana, por un tubo de 8 pulgadas de diámetro, corriese el agua con una velocidad media de 3 pies por segundo, como en la Habana la fuerza de la gravedad es 35,0184 pies; practicando la regla, multiplico 0,00017 por 3 y me da 0,00051; multiplicando 0,003416 por 9, cuadrado de 3, resulta 0,030744; y sumando estas dos cantidades, obtengo 0,031254; ahora, divido esta suma por el producto 24,51288, que proviene de multiplicar la fuerza de la gravedad en dicho parage por 0,7 próximamente de pie á que equivalen las 2 pulgadas, cuarta parte del diámetro 8; y obtengo por último 0,00525 de pie; ó suprimiendo el quinto guarismo 5 y añadiendo una unidad al cuarto, será 0,0053; y puesto en forma de quebrado, es $\frac{53}{10000}=\frac{1}{189}$; lo que nos dice que *en cada* 189 *pies, ha de haber* 1 *pie de desnivel.*

268 Si dado el radio medio del tubo, la fuerza de la gravedad y el declive, quisiéramos hallar la velocidad media, despejaríamos

---

con que se debe proceder, en la determinacion de la fuerza de la gravedad, va conforme con el dictámen de los Sabios mas eminentes, como puede verse tambien en la Mecánica de *Mr. Poisson*.

* No juzgamos prudente el tomar aquí un término medio entre esta fórmula y la de *Mr. Eytelwein;* porque la de este Sabio no la consideramos tan exacta como la de *Mr. Prony*; á causa de que *Mr. Eytelwein*, incurriendo en lo que exponemos (§ 536 de la 2.ª edicion del Tom. 2.º Part. 2.ª T. E.) relativo á dar mas estension de la que corresponde á los teoremas sobre el desarrollo de las funciones, para conseguir que su fórmula convenga al mismo tiempo para el desagüe por orificios hechos en paredes delgadas, introduce ademas otro término; con lo cual, por hacer estensiva dicha fórmula para un caso respecto del cual no está sacada, resulta ménos exacta para todos los que ella debe comprender.

la V en la ecuacion anterior; y obtendríamos, despues de hechas todas las simplificaciones, y no poniendo la resolucion negativa, por ser inútil,

$$V=-0,024882904+\sqrt{0,0006191589+73,185011D\times g\times j}\ (132).$$

La cual nos suministra la siguiente regla: *para encontrar la velocidad media, cuando es conocido el radio medio del tubo, el declive y la gravedad, se multiplicará el número* 73,185011 *por el diámetro (que es cuádruplo del radio medio), por la fuerza de la gravedad, y por el declive; á este producto se añadirá el número* 0,0006191589, *y de esto se estraerá la raiz cuadrada; de esta raiz se quitará el número* 0,024882904; *y se tendrá la velocidad media.*

Ej. Supongamos que en Valencia se trate de averiguar la velocidad con que saldrá el agua por el estremo de un tubo de 5 pulgadas de diámetro, cuya longitud sea de 300 pies españoles y la carga de 6 pies, es decir, que la superficie del agua en el depósito se halle 6 pies mas alta que la superficie del orificio de salida. Como en dicho parage, la gravedad es 35,0978; y el declive se halla dividiendo la carga 6 pies, por la longitud del tubo, que es 300, resulta que el valor de j es igual con $\frac{6}{300}=\frac{2}{100}=\frac{1}{50}$; y practicando la regla tendré, que multiplicando el factor 73,185011 por 35,0978, fuerza de la gravedad, obtengo 2568,6328791; multiplico ahora este número por 0,42 de pie á que equivalen las 5 pulgadas del diámetro y saco 1078,825809222; por último, multiplico este número por 0,02 de pie, á que equivale el $\frac{1}{50}$ del declive, y me resulta 21,57651844; sumo ahora este número con el factor 0,0006191589 y saco 21,5771353433; y estrayendo la raiz cuadrada me da 4,6451195; restando de este número el factor 0,0248829, tengo por último 4,6202366, cuyo valor nos dice que *en cada segundo, pasarán* 4,6202366 *pies cúbicos de agua.*

269 Esta fórmula, segun advierte *Mr. Prony y Mr. Pouillet*, no se deberá aplicar á tubos cuya longitud sea menor que diez ó doce pies, ó mas generalmente para cuando la longitud del tubo no venga á ser lo ménos 138,5 veces el diámetro. Cuando la longitud del tubo sea menor que 138,5 veces su diámetro, será mejor valerse de las fórmulas y procedimientos del capítulo tercero de este libro. Pero nada nos dicen estos Sabios acerca de los medios que se deberán adoptar para el caso de tener el tubo menor longitud: de manera, que dejaban este considerable hueco. Por esta causa, he prolongado yo la tabla 2.ª del § 57, á fin de que tengamos siempre me-

dios para encontrar los resultados; pues de otro modo la ciencia quedaba imperfecta en esta parte.

Con el fin de examinar hasta qué punto es exacta la prolongacion de dicha tabla, vamos á resolver ahora por la fórmula (132) la misma cuestion que hemos resuelto (§ 73), en que el tubo tenía de largo 30 pies, su diámetro era de 4 pulgadas y debía producir en Córdoba 500 pies cúbicos de agua en 10 minutos; y atendiendo á la fuerza de la gravedad que, en el espresado parage, es 35,0865 pies, y al fenómeno de la contraccion, obtuvimos, que la altura del depósito debería ser de 3,89206 pies longitudinales.

Es decir, que debemos proponernos ahora la siguiente cuestion: *Teniendo en Córdoba un conducto cilíndrico de* 30 *pies de largo, y de* 4 *pulgadas de diámetro, con una carga de* 3,89206 *pies, resulta que por la tabla de contraccion, se ha encontrado, que en* 10 *minutos ha suministrado un gasto de* 500 *pies cúbicos*. Como en 10 minutos hay 600 segundos, quiere decir que en cada segundo salió $\frac{5}{6}$ de pie cúbico de agua $=0,83333$ de pie cúbico. Y como el diámetro tenía 4 pulgadas$=\frac{1}{3}$ de pie, su superficie sería $0,7854\times\frac{1}{9}=0,0873$ de pie cuadrado; y dividiendo el volúmen de agua por esta superficie, resulta 9,547 pies para la velocidad media con que debe salir el agua.

Veamos ahora la velocidad media que nos da la fórmula (132); en la cual deberémos suponer $D=4$ pulgadas$=\frac{1}{3}$ de pie $=0,3333$ &c. de pie; $g=35,0865$ pies; y $j=\frac{3,89206}{30}=0,129735$; y haciendo las sustituciones en la (ec. 132), ó practicando la regla (§ 268) á que ella da lugar, resulta para la velocidad media $V=10,5123976$, que se diferencia de la que se obtiene atendiendo al fenómeno de la contraccion en cerca de un pie. Sería de la mayor importancia el que por esperimentos directos se llegase á determinar cual de estos procedimientos es el mas exacto; en el ínterin que esto se decide por la via de la esperiencia, parece que en virtud de lo que hasta el dia se sabe, es preferible el procedimiento de atender al fenómeno de la contraccion de la vena fluida.

270 Aunque podríamos despejar en la espresada ecuacion el diámetro, que es cuádruplo del radio medio, y la ecuacion que resultase debería verificarse entre el radio medio de un tubo, el declive y la velocidad media, sin embargo, dicha ecuacion no podría servirnos para encontrar el radio medio del tubo, ó su diámetro

suponiendo arbitrariamente ó á la casualidad el valor de j y el de V; por lo cual introducirémos aquí tambien, análogamente á lo espuesto (166), el gasto de agua en un segundo, suponiendo siempre *que el movimiento ha llegado á la uniformidad, y que el agua corre por el tubo á caño lleno.*

Si espresamos por Q el gasto ó cantidad de agua de cada seccion del tubo en la unidad de tiempo, tendrémos que, como la velocidad media se hallará dividiendo el gasto Q por la superficie del círculo interior, que es la seccion del tubo, se verificará que como la superficie de un círculo cuyo diámetro es D, es igual (§ 522 I.T.E.) con $0,785398\,1634 \times D^2$, resultará

$$V = \frac{Q}{0,785398\,1634 . D^2} = 1,27323\,9545 \times \frac{Q}{D^2}.$$

Sustituyendo este valor en la (ec. 130) y ejecutando las operaciones, resulta $\frac{1}{4}\,Dgj = 0,00021\,64507 \times \frac{Q}{D^2} + 0,00553\,78106 \times \frac{Q^2}{D^4}$ (133); la cual espresa la relacion entre el diámetro del tubo y su gasto, cuando la longitud, el declive y la gravedad se hallan determinadas por las condiciones particulares de la cuestion.

271 Multiplicando esta ecuacion por $4D^4$, resulta

$$D^5 gj = 0,00086\,580289 \times Q \times D^2 + 0,02215\,124246 \times Q^2 \quad (134).$$

Aquí hay tambien una dificultad matemática que vencer; y es que esta ecuacion es del *quinto* grado con relacion al diámetro, y en el estado actual del Álgebra no se puede resolver en general. *Mr. Prony* calcula con este objeto la tabla 3.ª de sus *Investigaciones* &c., que no es de las *cinco* que se hallan en la *Coleccion* &c. publicada en 1825; pero lo hace con relacion á la gravedad en París, que hemos manifestado (§ 29) no se puede suponer ni general para todo el Globo, ni aun solo para la España. Tambien propone un medio de conseguir esto con el auxilio de la tabla 2.ª de sus *Investigaciones* &c., que es la primera de su *Coleccion* &c.; pero como tambien está calculada para la gravedad de París, no puede servir en general. Aun cuando nosotros calculásemos para Madrid unas tablas análogas, no se podrían adaptar á todos los puntos del territorio español; por lo que hemos escogitado otro método que espresarémos (§ 276), al resolver esta cuestion por la fórmula de Madrid, que está á los alcances de los que solo posean los conocimientos de mi Aritmética de Niños, y es el que ya hemos empleado (§§ 130, 140, 141 y 142) en

casos análogos. Por lo cual, aconsejamos á los que necesiten hacer cálculos de esta naturaleza, que en parages donde no se pueda suponer la misma gravedad que en Madrid, la determinen por las reglas establecidas anteriormente (§ 5); y que despues procedan por el tipo del cálculo que harémos (§ 276) para resolver esta cuestion respecto de la localidad de Madrid.

272 Pasemos ya á la trasformacion de las fórmulas del movimiento del agua en los tubos de conduccion á cañerías para la posicion de Madrid, y demas parages que puedan reconocer á esta Capital, como teniendo una posicion media.

Si en el primer miembro de la ecuacion (130), sustituimos 35,0961 pies españoles en vez de g, y le dividimos por 4, se convertirá dicho primer miembro en $8{,}774Dj$; y dividiendo los números constantes del segundo miembro por 8,774, se nos convertirá la espresada ecuacion en

$$Dj=0{,}0000193754 3\times V+0{,}00038933212\times V^2 \quad (135).$$

Ecuacion en la cual se espresa la relacion que tiene, para la posicion de Madrid, el diámetro del tubo, el declive y la velocidad en el movimiento de las aguas por encañados ó tubos de conduccion.

273 Si en ella despejamos la j, tendrémos

$$j=\frac{0{,}000019375 43\times V+0{,}00038933212\times V^2}{D} \quad (136);$$ la cual nos servirá para determinar el declive que se deberá dar á un encañado, cuando se conoce la velocidad que se quiere tenga el agua y el diámetro de la cañería ó tubo de conduccion; y traduciéndola en regla, nos dice: que *el número* 0,000019375 43 *se multiplique por la velocidad*; *que el número* 0,00038933212 *se multiplique por el cuadrado de la velocidad*; *que se sumen estos dos productos*; *y la suma se divida por el diámetro*, *y el cociente espresará el declive que se deba dar.*

Para hacer una aplicacion, supongamos que se quiera encontrar el declive que se deberá dar á un encañado en que el diámetro interior de los caños ó tubos sea de 6 pulgadas=0,5 de pie; y que la velocidad sea de 2 pies por segundo; en este caso, practicando la regla, multiplicaré el número 0,0000193 7543 por 2, que es la velocidad, y saco 0,00003875086; multiplico el número 0,00038933212 por 4, que es el cuadrado de la velocidad, y saco 0,00155732848; sumo estos productos y obtengo 0,00159607934; y dividiendo esto por el diámetro del tubo, que es 0,5 me resulta por último 0,00319215868;

y tomando los cinco primeros guarismos solamente, será 0,00319, que poniéndolo en forma de quebrado comun, se tiene $\frac{319}{100000}$; y simplificando, dividiendo los dos términos por el numerador 319 para que el numerador resulte la unidad, tengo por último $\frac{1}{313}$; lo cual quiere decir, que en cada distancia de 313 pies, que haya de tener el encañado, se ha de dar 1 pie de declive. De manera, que si la longitud del encañado hubiese de ser 10000 pies, examinaríamos cuantas veces estaba contenido el 313 en 10000; y como está contenido cerca de 32 veces, deberíamos disponer la cañería, de modo que tuviese 32 pies de declive desde el depósito del agua hasta el parage por donde hubiese de salir.

274 Si dado el diámetro de la cañería ó del tubo, y el declive, quisiéramos hallar la velocidad con que saldría el agua, despejaríamos la V en la (ec. 135), y tendríamos

$$V = -0{,}024882907 17 + \sqrt{0{,}0006201 5907 + 2542{,}8161437 . Dj} \quad (137);$$

la cual traducida en regla, nos dice: que *para encontrar la velocidad, se multiplicará el diámetro por el declive, y este producto se volverá á multiplicar por el número* 2542,8161437; *el producto que resulte, se sumará con el número* 0,0006201 5907; *que de esta suma se extraiga la raiz cuadrada; y por último, que de dicha raiz, se reste el número* 0,024882907 17; *y lo que resulte será el valor de V ó de la velocidad media.*

Ej. Supongamos que se quiere hallar la velocidad con que correrá el agua por un tubo, cuyo diámetro sea de 6 pulgadas ó 0,5 de pie y el declive de $\frac{1}{500}$, y obtendrémos 1,5699325 de pie.

275 Si en la (ec. 135) despejamos la D, se tendrá

$$D = \frac{0{,}0000193 7543 \times V + 0{,}00038933212 \times V^2}{j} \quad (138);$$ pero por razones análogas á las dadas (§ 270), no podemos tomar á arbitrio la velocidad y el declive; y así, para encontrar el diámetro, es preciso sustituir en vez de la velocidad V, su valor $\frac{Q}{S}$, ó lo que es mas sencillo, valernos de la (ecuacion 134), preparándola para Madrid, dividiendo los números constantes de su segundo miembro por el valor 35,0961 pies, que es el valor de la gravedad en esta Corte; con lo cual se nos convertirá en

$$D^5 j = 0{,}00002466949 \times Q \times D^2 + 0{,}00063115966 \times Q^2 \quad (139).$$

Esta ecuacion siendo del *quinto grado* y teniendo unos coeficientes tan complicados, se resiste á cuantos métodos directos poséen las Matemáticas en el dia; y no queda mas arbitrio que emplear el método, de que hemos hecho uso (§§ 129, 140, 141 y 142) para vencer dificultades análogas, sin suponer otros conocimientos que los de mi Aritmética de Niños.

276 Para manifestar la manera de vencer esta dificultad, nos propondrémos *hallar el diámetro interior que se debe dar á un tubo, para que puedan pasar por él* 2000 *unidades de las que en Madrid se denominan* real de agua, *con un declive de* $\frac{1}{1000}$, *esto es, que en cada distancia de* 1000 *pies, se dé* 1 *pie de desnivel.*

Para lo cual, observarémos que *un real de agua* (pág. 496 del Mercurio de octubre de 1824) suministra 11,167556 pies cúbicos en una hora, por lo que teniendo la hora 3600 segundos, suministrará 0,0031021 de pie cúbico en un segundo; y como han de pasar dos mil de estas unidades, resultará que el diámetro del tubo deberá ser tal, que pasen por él en cada segundo 6,2042 pies cúbicos de agua.

Luego si en la (ec. 139) sustituimos $\frac{1}{1000}$ en vez de j, y 6,2042 en vez de Q, se nos convertirá despues de hechas todas las simplificaciones en $D^5=0{,}1530544986\times D^2+24{,}29465925915$; ó trasladándolo todo al primer miembro, será

$$D^5-0{,}1530544986\times D^2-24{,}29465925915=0 \quad (140).$$

En la cual nos proponemos hallar el valor del diámetro D. Para esto, recordarémos lo que hemos dicho (§§ 141 y 142), á saber: que, en general, el primer supuesto arbitrario debe ser aquel que nos conduzca á un resultado que suministre alguna luz sin mucha complicacion; por lo que el primer supuesto que harémos, será el de hacer $D=1$; en cuyo caso el primer miembro de la ecuacion anterior se nos convierte en $1-0{,}1530544986-24{,}29465925915$; ó ejecutando las operaciones, en $-23{,}44771370901$; pero como el primer miembro debía ser 0, así como lo es el segundo, y este resultado es negativo, nos quiere dar á entender que el valor 1 que, hemos supuesto al diámetro, es menor de lo que corresponde.

Tomemos el número 2 por segundo número supuesto; y sustituyéndole en el primer miembro de la ecuacion (140), se nos convierte en $2^5-0{,}1530544986\times2^2-24{,}29465925915$.

Ahora, el número 5, que está á la derecha del 2, se llama (§ 168*IT.E*) *exponente*; y quiere decir, que se ha de multiplicar el 2 por sí mismo cuatro veces; luego deberémos decir, 2 por 2

son 4; este producto 4 lo volveré á multiplicar por 2 y tendré 8; este producto 8, lo volveré á multiplicar por 2, y tendré 16; volveré á multiplicar el 16 por 2 y tendré 32; y como ya he practicado cuatro multiplicaciones, resulta que 32 es el valor de 2^5.

Ahora, en el segundo término, veo que el número constante −0,1530544986 lo tengo que multiplicar por 2^2; y 2^2 quiere decir que he de multiplicar el 2 por sí mismo, lo que da 4; y multiplicando dicho número constante por 4, tendré que la espresion anterior se me convertirá en 32−0,6122179944−24,2946592591 5, que, despues de practicadas las operaciones, se nos convierte en 7,0931229414 1; que escede el valor *cero* que debía resultar en esta misma cantidad: de lo cual inferimos que el valor del diámetro ha de ser mayor que 1 y menor que 2; y tambien se deduce que debe aproximarse á 2 mas que á 1, puesto que este error que acabamos de obtener es menor que el anterior.

Ahora, podríamos suponer á *D* otro valor arbitrario comprendido entre 1 y 2, ó mas próximamente entre $1\frac{1}{2}$ y 2; pero de este modo nos espondríamos á tardar mas tiempo y á no aproximarnos tanto; por lo que emplearémos el procedimiento espuesto (nota del § 310 *I T. E.*). Y puesto que los errores tienen aquí diferente signo, para encontrar la correccion que debemos hacer al segundo número supuesto 2, formarémos la siguiente proporcion ó regla de tres 30,5408366504 2 (suma de los errores por tener diferente signo) : 1 (diferencia entre los dos números supuestos) : : 7,0931229414 1 (error que proviene del segundo número supuesto 2): á la correccion que se debe hacer al espresado número 2; y hallando el cuarto término en virtud de lo espuesto (§ 201 Aritm. de Niños), y tomando solo cinco guarismos decimales, que es una aproximacion mucho mayor de la que se puede necesitar, pues nos dará el verdadero resultado con ménos de una milésima de línea, que ni con los mejores instrumentos se puede apreciar, tenemos 0,23225; y restando este valor, del segundo supuesto 2, se nos convierte en 1,76775, que en efecto es un valor mas aproximado al 2 que al 1.

Tomemos este valor 1,76775 por tercer número supuesto; y sustituyéndole en el primer miembro de la (ec. 140) se nos convierte en $(1{,}76775)^5 - 0{,}1530544986 \times (1{,}76775)^2 - 24{,}2946592591 5$; que para encontrar el valor del primer término multiplicarémos el 1,76775 por sí mismo cuatro veces, y tomando en el resultado solo once guarismos decimales, tenemos 17,26252138438.

Para encontrar el valor del segundo término, multiplicarémos el

número constante 0,15305444986 por el valor de $(1,76775)^2$, que es 3,124940062 5, y se halla multiplicando el 1,76775 por sí mismo; y tomando solamente once guarismos decimales en el producto final, se obtiene para dicho segundo término 0,47828598211.

Como el tercer término es un número constante que no contiene al diámetro, será el mismo; por lo que la espresion anterior se nos convertirá en 17,26252138438-0,47828598211-24,29465925915; que efectuando las operaciones, resulta—7,51042385688, error que, siendo negativo, nos quiere decir que el número supuesto es menor de lo que debe ser. Y para hallar la correccion que se le debe hacer, formarémos la proporcion ó regla de tres siguiente: 14,60354679829 (suma del error obtenido ahora y el anterior, por tener diferente signo) : 0,23225 (diferencia entre el supuesto 2 y el 1,76775) : : 7,51042385688 (error provenido del número supuesto 1,76775) : al cuarto término, que resulta ser 0,11944; y sumando este valor con el tercer número supuesto 1,76775, nos da 1,88719 que es en efecto mayor que el anterior, como debía resultar.

Tomando este valor 1,88719 por cuarto número supuesto, y ejecutando las operaciones anteriormente dichas, el primer miembro de la (ec. 140) se nos convierte en 23,93746371720-0,54510129512-24,29465925915, que, practicando las operaciones indicadas, se halla por último—0,90229683707.

Formando ahora la proporcion debida, para encontrar la correccion que se debe hacer al cuarto número supuesto 1,88719, dirémos 6,60812701981 (diferencia de los errores por tener aquí un mismo signo) : 0,11944 (diferencia entre los números supuestos 1,88719 y 1,76775) : : 0,90229683707 (error que acabamos de hallar) : la correccion que buscamos; y resulta ser 0,01631; cuyo valor sumado con el número supuesto 1,88719, de que provino, da 1,90350.

Eligiendo ahora por 5.° número supuesto el valor 1,90350 y ejecutando todas las operaciones en el primer miembro de dicha (ec. 140), resulta el error 0,14067020447.

Y practicando ahora la regla de tres para encontrar la correccion que se debe hacer á este 5.° número supuesto, diré 1,04296704154 (suma de los errores, por tener diferente signo) : 0,01631 (diferencia entre los números supuestos) : : 0,14067020447 (error acabado de hallar) : el cuarto término, que resulta ser 0,00022; el cual restado del supuesto 1,90350 de que proviene, da 1,90328.

Si tomamos ahora este resultado 1,90328 por 6.° número su-

puesto y ejecutamos todas las operaciones, hallarémos el error 0,1263795260I.

Y formando la correspondiente proporcion, dirémos 0,01429067846 (diferencia de los errores por tener ambos un mismo signo) : 0,00022 (diferencia de los números supuestos) : : 0,1263795260I : 0,00019; cuyo valor restado del supuesto dicho 1,90328, nos resulta 1,90309.

Tomemos por 7.° número supuesto este valor 1,90309, y hallarémos, despues de hechas todas las operaciones, que el error es 0,11400746526.

Formarémos la debida proporcion, diciendo 0,01237206075 (diferencia de los errores) : 0,00019 (diferencia de los supuestos) : : 0,11400746526 : 0,00018; y restando este valor del supuesto 1,90309, nos resulta 1,90291.

Tomemos por 8.° supuesto este número 1,90291, y practicadas todas las operaciones, hallarémos el error 0,10230917691.

Y formando la proporcion, dirémos 0,01169828835 (diferencia entre los errores) : 0,00018 (diferencia entre los supuestos) : : 0,10230917691 : 0,00016, cuyo valor restado del supuesto 1,90291 da 1,90275.

Si tomamos ahora por 9.° supuesto el valor 1,90275, y ejecutamos las operaciones, nos dará el error 0,09191443856. Y formarémos la proporcion siguiente
0,01039473835 : 0,00016 : : 0,09191443856 : 0,00014; que restado del valor 1,90275, nos da 1,90261.

Tomando ahora por 10.° número supuesto este valor 1,90261, y ejecutadas las operaciones, obtendrémos por error 0,08282192942 y formarémos la siguiente proporcion
0,00909250914 : 0,00014 : : 0,08282192942 : 0,00013; el cual restado del valor 1,90261, nos da 1,90248.

Tomemos ahora por 11.° supuesto el valor 1,90248, y ejecutando las operaciones, nos resulta por error 0,07438129730 y formarémos la proporcion
0,00844063212 : 0,00013 : : 0,07438129730 : 0,00011; que restándole del 1,90248, tenemos 1,90237.

Tomando este valor 1,90237 por 12.° número supuesto, despues de practicadas las operaciones, obtendrémos el error 0,06724103783.

Y formando la proporcion 0,00714025947 : 0,00011 : : 0,06724103783 : 0,00010; que restado del 1,90237, nos da 1,90227.

Y por último tomando por supuesto 13.º este valor 1,90227 y ejecutadas las operaciones, hallo el error 0,0607513543.

Que formando la proporcion; dirémos 0,0064897024o : 0,00010 : : 0,0607513543 : 0,00009; el que restado del valor 1,90227 nos da por último 1,90218.

Y como ya la correccion nos viene en el quinto guarismo decimal, es inútil mayor aproximacion. En rigor, desde que por el cuarto supuesto, nos cercioramos de que el número que buscábamos se hallaba entre el 2 y el 1,88719, debimos terminar aquí nuestra operacion, pues como en casos de esta naturaleza conviene siempre calcular con algun esceso, debimos suponer que el diámetro efectivo era de 2 pies; y aun ahora que sabemos que el espresado diámetro ha de ser el 1,90218 con toda exactitud en los cuatro primeros guarismos decimales y que solo podrá discrepar del verdadero en alguna ó algunas unidades del quinto guarismo decimal, deberémos suponer, para dar siempre algo de mas, que el número correspondiente al diámetro de la cuestion sea el número entero 2 pies.

Tambien hubiéramos podido simplificar el cálculo, tomando solo cuatro ó cinco guarismos decimales en los números constantes del primer miembro de la (ec. 140); mas como nos proponemos el doble objeto de enseñar á resolver estas cuestiones con toda la exactitud que convenga, y familiarizar á nuestros lectores con este método tan fecundo y al alcance de todos, para resolver las ecuaciones que se resisten á todos los otros procedimientos matemáticos, hemos querido llevar esta aproximacion hasta un punto de exactitud que escede á cuanto puede ocurrir en la práctica: á fin de tener una completa seguridad, de que si en esta cuestion de coeficientes tan complicados, hemos enseñado á vencer todas las dificultades, en las que ocurran en lo sucesivo, que han de ser por precision mas sencillas, se tenga total confianza en que se conseguirán los resultados con la exactitud que se apetezca.

277 Todo lo dicho hasta aquí supone que los tubos conservan igual diámetro en toda su estension; pero si esto no sucede, como suele acontecer en la práctica, debemos tener en consideracion lo que se verifica cuando una cantidad conocida y determinada de agua debe pasar constantemente por un tubo; y por no haber suficientes tubos de unas mismas dimensiones, ó por cualquiera otra causa, es preciso usarlos de diferentes diámetros en un mismo encañado.

Supongamos que D y d sean los diámetros de los tubos, esto es, D el del tubo mayor que supondrémos por ahora es el que está

ántes, y d el del menor; y que sea Q el gasto de agua por segundo que ha de pasar tanto por el tubo grande como por él chico. Para que se verifique esta circunstancia, es indispensable que por el tubo de menor diámetro pase el agua con mas velocidad que por el otro, y como el aumento de velocidad no puede provenir sinó de un aumento de carga, debemos averiguar cual es el aumento que se debe dar á esta. Para encontrarle se puede hacer uso con bastante aproximacion de esta fórmula: *Aumento de carga que debe tener un depósito para que salga igual cantidad de líquido en un tiempo dado por el tubo cuyo diámetro es mayor, pasando á otro menor=*

$$=\frac{Q^2}{1,23370055.g}\times\left(\left(\frac{1}{d^2}\right)^2-\left(\frac{1}{D^2}\right)^2\right) \quad (141)^*.$$

* Para deducir esta fórmula, llamemos V la velocidad correspondiente al tubo cuyo diámetro es mayor; y tendrémos que, en virtud de lo espuesto (§§ 50 y 51 Mec. Práct.) *la altura debida á esta velocidad*, que allí hemos espresado por e, y aquí lo harémos por A, será $=\frac{V^2}{2g}$; llamemos v la velocidad con que debe ir por el tubo cuyo diámetro es menor; y la señalamos con la v minúscula, sin embargo de que debe ser la velocidad mayor, porque las letras minúsculas no indican sinó las cosas homólogas en el tubo cuyo diámetro es menor; y espresando por a la altura debida á esta velocidad, será $a=\frac{v^2}{2g}$.

Ahora bien, la velocidad en general es el cociente que resulta de dividir el gasto por la superficie de la seccion; y como esta es un círculo, y la superficie de un círculo es igual (§ 522 Cor. 1.° IT.E.) con 0,7853 &c., multiplicado por el cuadrado del diámetro, resulta que la seccion ó superficie interior del tubo cuyo diámetro es D, será igual con 0,785 &c. D^2; y la de aquel cuyo diámetro es d será 0,785 &c. d^2; y dividiendo el gasto Q por estas secciones, tendrémos las respectivas velocidades V y v, luego será $V=\frac{Q}{0,785\&c.D^2}$, y $v=\frac{Q}{0,785\&c.d^2}$; sustituyendo estos valores en las espresiones de A y de a, se tiene $A=\frac{Q^2}{(0,785\&c.D^2)^2.2g}=\frac{Q^2}{0,616850275.(D^2)^2.2g}=\frac{Q^2}{1,23370055.(D^2)^2g}$; y $a=\frac{Q^2}{1,23370055.(d^2)^2g}$. Como a debe ser mayor que A, suponiendo que el tubo de mayor diámetro se halle ántes, resulta qu la diferencia de estas dos alturas será $a-A=\frac{Q^2}{1,23370055.g}\left(\left(\frac{1}{d^2}\right)^2-\left(\frac{1}{D^2}\right)^2\right)$ que es la (141) del testo.

Aquí deberíamos tener ademas en consideracion la contraccion de la vena fluida; pero nada de lo que ha llegado á nuestra noticia es suficiente

Dividiendo la unidad por el número 1,23370055, se nos convierte en la siguiente

$$Aumento\ \&c. = 0{,}8105695 \frac{Q^2}{g}\left(\left(\frac{1}{d^2}\right)^2 - \left(\frac{1}{D^2}\right)^2\right) \quad (142).$$

La cual traducida en regla, nos dice: que *del cuadrado del cociente que resulte de dividir la unidad por el cuadrado del diámetro menor, se reste el cuadrado del cociente que resulte de dividir la unidad por el cuadrado del diámetro mayor; que la espresada resta se multiplique por el cociente de dividir el cuadrado del gasto por la gravedad, y que el producto que resulte, se multiplique por el número constante* 0,8105695; *y el producto que se obtenga, espresará el aumento de carga que por la espresada razon se deberá dar al depósito.*

278 Para hacer una aplicacion de esta fórmula, supongamos que en Madrid la velocidad media del agua en el tubo sea de tres pies por segundo; que el diámetro del tubo tenga 8 pulgadas =0,67 de pie, que pasen por él 2 pies cúbicos por segundo; y que no hallándose por ejemplo mas tubos de aquella especie, se quiera suplir su falta con tubos cuyo diámetro interior sea de 6 pulgadas =0,5 de pie, y que deba pasar la misma cantidad de agua en el mismo tiempo. Para que esto se verifique, es preciso que el agua camine con mas velocidad por el tubo chico que por el grande; luego será necesario dar mayor altura ó carga al agua en el depósito. Este esceso de altura es el que tratamos de determinar; y para conseguirlo, aplicarémos la regla anterior, observando, que, pues el diámetro menor es 0,5 de pie, su cuadrado será 0,25; dividiendo la unidad por este número, se tiene 4; el diámetro mayor es 0,67 de pie, y elevando esto al cuadrado nos da 0,4489; y dividiendo la unidad por este número, será 2,228, y elevando al cuadrado los números

---

para determinar la correccion que corresponde por dicho efecto; y lo poco que hemos visto dista mas de la verdad que si no se atendiese á él. Por lo que, sería muy conveniente hacer algunos esperimentos; y comparando los resultados que diese esta fórmula con los de la esperiencia, se podría determinar un número que sirviese de coeficiente de contraccion. En el ínterin, que, por esperimentos adecuados, se llegue á determinar este coeficiente, lo que se deberá ejecutar en el caso de que sea indispensable hacer uso de tubos de diferentes diámetros, es procurar que el tránsito del uno al otro no se verifique repentinamente, sinó que del diámetro mayor al menor se pase por una especie de embudamiento: con lo cual se disminuirá mucho el efecto de la contraccion, y podrémos usar con mas confianza de la fórmula del testo.

4 y 2,228, tendrémos 16 y 4,963984; cuya diferencia es 11,036016; la cual multiplicada por 0,256 que es el cociente de dividir el cuadrado 9 del gasto 3 pies, por 35,0961, que es la gravedad en Madrid, da por producto 2,825220096; que tomando los cinco primeros guarismos decimales y multiplicando por el factor constante 0,8105695 y tomando dos guarismos decimales en el producto, obtenemos por resultado 2,29 pies que hacen *dos* pies y unas tres pulgadas y media; y espresará el esceso de altura que se debe dar al agua en el depósito para que pase por dicho tubo la misma cantidad en igual tiempo. Si se verificase, al contrario, que el agua pasase del tubo de menor diámetro al de mayor, esta altura debería disminuirse de la altura calculada para el tubo de menor diámetro; pero debemos advertir que si el tubo de menor diámetro fuese muy largo, entónces este esceso de altura que bastaría para hacer que la velocidad en el principio del tubo fuese la correspondiente para dar el mismo volúmen Q, podría suceder que no bastase para el fin del tubo, suponiéndole de bastante longitud.

Repetimos que esta materia no se ha tratado aun en mi concepto, como corresponde á su importancia, y que convendría ejecutar esperimentos adecuados.

279 Cuando el tubo de conduccion ó encañado, no es recto, sufre el agua en cada recodo una resistencia que aniquila parte de su movimiento; por lo que tambien es necesario en este caso un aumento de carga que se podrá determinar en virtud de lo que expondrémos (§ 326).

280 Pasemos ya á ocuparnos de los *surtidores*. Se comprende bajo esta denominacion, *todo chorro de agua, que se eleva verticalmente ó sale con una cierta inclinacion sobre el horizonte*. Los surtidores son los adornos mas agradables de los jardines, palacios, parques, casas de campo, &c., deleitan la vista, refrescan la atmósfera, y purifican el aire haciendo que se precipiten, mezclándose con las aguas, todas las emanaciones y miasmas que en él revolotéan. En su ejecucion brillan á porfía todas las Bellas Artes y lo mas sublime de la Hidrodinámica. Los mas asombrosos del mundo son los que se hallan en España en el Real Sitio de San Ildefonso, y cuya descripcion puede verse en un cuadernito impreso en 1825. Los que siguen á estos son los de *Versalles* y *Saint Cloud* en Francia; y despues los que hay en Granada y en algunas otras Provincias meridionales de España, y ciudades de Italia. Los de la Granja son infinitamente superiores á los de Versalles; y aun son susceptibles de

presentar un aspecto mucho mas imponente y magestuoso, pues el depósito de agua, que allí se denomina el *mar*, y que se halla en la misma montaña, es muy grande, permanente y abundante; siendo así, que el de Versalles está en lo alto de un edificio, sostenido por maderos, y es muy pequeño en comparacion de la cantidad de aguas que se necesitan; por lo cual solo pueden correr los surtidores, ó como allá dicen *correr las aguas*, por espacio de unos tres cuartos de hora.

281 La parte científica de los surtidores estriba en lo que decimos (§ 571) de nuestra Mecánica; y se reduce, á que, *un chorro de agua, que salga en direccion vertical de abajo arriba, se elevaría en el vacío á la misma altura del depósito, que si saliese con una inclinacion que no fuese vertical, trazaría en el vacío una parábola, y al aire libre una curva de igual naturaleza que la descrita por los proyectiles*, y que nosotros hemos trazado en la (fig. 143) de dicha obra, y en la (fig. 76) de nuestra Mecánica Práctica.

282 Al aire libre, no puede elevarse el agua del surtidor hasta el nivel que tiene en el depósito, porque la resistencia del aire obliga al agua á que se divida; y ademas, cuando el surtidor es enteramente vertical, el agua que cae se opone al movimiento de la que sube; de manera, que dando un poquito de inclinacion al surtidor, se gana en altura, como se ve en la (fig. 47 lám. 3). En ella hemos representado en el surtidor vertical una bola sostenida por el mismo chorro; porque en diferentes partes hemos presenciado este entretenimiento muy agradable. En efecto, poniendo sobre un surtidor vertical una naranja ó una bola cualquiera, permanecerá como bailando, ascendiendo y bajando, en términos que con la vista de la espuma que forma el agua, y que á veces suele presentar los colores del iris, es una diversion sumamente agradable; y la bola ó naranja permanece mucho tiempo elevada si no se ve precisada por el impulso del viento, á separarse de la vertical que forma el surtidor, en cuyo caso, faltándole el apoyo, se precipita.

283 *Mariotte* en su *Tratado sobre el movimiento de las aguas*, y *Bossut* en su *Hidrodinámica* han publicado sus esperimentos para determinar la diferencia de altura entre el nivel del agua en el depósito y la parte mas alta del surtidor, los cuales se hallan bastante acordes. Los de *Mariotte* conducen á la regla siguiente: El *esceso de la altura del agua en el depósito sobre la del surtidor es el tercio del cuadrado de la décima parte de la altura del surtidor*; es decir, que si llamamos H la altura del agua en el depósito, y h la altura á

que se eleva el surtidor, se tendrá $H-h=\frac{1}{3}(\frac{1}{10}h)^2=\frac{1}{300}h^2$ (143). Si pasamos al segundo miembro la h, tendrémos $H=h+\frac{1}{300}h^2$ (144).

La cual traducida en regla, nos dice, que *para encontrar la altura que se debe dar á un depósito, conociendo la que debe tener el surtidor, á la altura de este, se añadirá la trescentésima parte ó un trescientos avo del cuadrado de la misma altura del surtidor.*

Ej. Si suponemos que la altura h del surtidor deba ser de 100 pies, y queremos encontrar la altura que se deberá dar al depósito, tendrémos que, como el cuadrado de 100 es 10000, dividiendo por 300 da $33\frac{1}{3}$, que equivalen á 33 pies y 4 pulgadas; por lo que sumando esta cantidad con 100 altura del surtidor, nos resultarán 133 pies y 4 pulgadas para la altura que deba tener el depósito.

284 Si quisiéramos determinar la altura del surtidor, suponiendo conocida la del depósito, despejaríamos h en la (ec. 144), lo que nos dará (§ 253 *I.T.E.*) omitiendo la resolucion negativa,

$h=-150+\sqrt{22500+300H}$ (145); y como el 22500 equivale á 900×25, y 300 es lo mismo que $\frac{900}{3}$, el radical se nos convertirá en $\sqrt{900(25+\frac{1}{3}H)}$; y estrayendo la raiz cuadrada de 900 que es 30, y observando que el 150 equivale á 30×5, la ecuacion anterior, despues de simplificada, se nos convertirá en $h=30(\sqrt{25+\frac{1}{3}H}-5)$ (146); la cual traducida en regla, nos dice: que *la altura del surtidor es igual á la raiz cuadrada del número* 25 *aumentado con el tercio de la altura del depósito, rebajando de dicha raiz el número* 5, *y multiplicando esta resta por* 30.

Ej. Supongamos que la altura de un depósito sea 72 pies; como su tercio es 24, reunirémos 25 con 24, y tendrémos 49, cuya raiz cuadrada es 7; restando 5 de 7, obtendrémos 2; y multiplicando este por 30 resulta que 60 espresará los pies á que se elevará el surtidor.

285 En cuanto al gasto de agua, es el mismo, cualquiera que sea la direccion del surtidor; y se determinará en virtud de lo espuesto en el capítulo 3.° de este libro, segun sea la figura del orificio ó tubo que forma la boca del surtidor, con tal que este salga inmediatamente del depósito, ó que entre el depósito y el surtidor medie un tubo de un ancho suficiente para que el rozamiento no sea capaz de disminuir sensiblemente la velocidad con que el agua deberá salir por el surtidor. Sobre cuyo punto ha dado á conocer la esperiencia, que el agua saldrá por el surtidor con una velocidad debida á la altura del nivel del agua en el depósito, sobre el orificio de salida del

surtidor, con tal que *la velocidad que tenga el líquido por el tubo intermedio, sea como de un pie por segundo.* Tambien ha dado á conocer la esperiencia que para obtener la mayor altura posible en el surtidor, conviene que el orificio de salida se haga en una pared delgada, á que se suele dar el nombre de *platina*, que despues sigue la forma cónica; y que si el tubo que forma la boca de un surtidor es cilíndrico, es la ménos ventajosa. Con lo cual, y la doctrina que tenemos espuesta, se podrán resolver todas las cuestiones que puedan ocurrir en la práctica. Por lo que terminarémos este punto, manifestando que los sugetos, á quienes ocurran obras de esta naturaleza, podrán consultar en cuanto á la forma de las figuras que apetezcan en los surtidores, la obra, cuyo título es *Architectura curiosa nova* escrita por *Brocklern* y traducida al latin por *Sturmio*; pues aunque es obra antigua, presenta una inmensidad de figuras ó juegos caprichosos de las aguas en los surtidores que conducirán á escitar las idéas que puedan convenir al intento.

CAPÍTULO XI.

De la distribucion de las aguas.

286 La justa y científica distribucion de las aguas es una de las principales cuestiones que pueden ocurrir entre las de su movimiento; forma parte integrante de la administracion económica de los pueblos; proporciona el regadío á los campos; y como agente, satisface las indispensables necesidades de los establecimientos industriales; pues sucede con mucha frecuencia, particularmente en paises de minas ó agronómicos el que una cierta cantidad de agua que produzca un depósito, rio, fuente, manantial &c., se tenga que distribuir ó repartir entre varios individuos, á proporcion de la cantidad que cada uno haya adquirido por venta, contrata ó de gracia, segun se verificaba ántes en el *Potosí* y ahora en *Valencia*, *Granada*, *Murcia*, en el *Hartz* &c. &c. En este caso, la persona, que cuida de la direccion y repartimiento de dichas aguas, debe procurar que cada uno de los partícipes disfrute de una parte proporcional: á cuyo efecto deberá emplear los principios precedentes con la mayor escrupulosidad, y en virtud de ellos resolverá con la debida exactitud cuantas cuestiones le puedan ocurrir: único medio para que ninguno salga perjudicado. No resolvemos ejemplos acerca de esta materia, porque como

las circunstancias locales varían tanto, podría suceder que el ejemplo que resolviésemos no ocurriese del mismo modo en la práctica. Lo mismo sucede respecto de la distribucion de las aguas para el regadío: es preciso atenerse á la disposicion particular de los terrenos, y á las circunstancias con que en cada pais ya sea por ordenanzas particulares, ó ya por la costumbre, se verifica el aprovechamiento de las aguas.

287 Pero sobre lo que sí nos detendrémos, es acerca del modo de distribuir el agua de una poblacion numerosa; cuyo método podrá servir de regla ó tipo en las otras circunstancias. En este caso, sea mucha ó poca el agua que se haya de repartir, lo que siempre se debe conciliar, es que á cada individuo le corresponda igual cantidad de agua. Para esto, si toda el agua viene de un parage, y es preciso repartirla en diferentes conductos, que vayan á diversos barrios, convendrá dividirla, de modo que á cada cuartel ó barriada vaya una cantidad proporcionada á su vecindario, á no ser que alguna circunstancia particular influya para que en algun barrio se necesite mas ó ménos agua que la correspondiente á su número de vecinos; despues, cada depósito parcial se deberá distribuir de modo que, tanto los particulares, como las corporaciones, perciban lo que les corresponde bajo cualquier aspecto.

288 Si el agua proviene de varios depósitos y por diferentes conductos, convendrá examinar bien la cantidad de agua que cada uno pueda suministrar, y hacer que se estienda al número competente de vecinos, para que todos disfruten igualmente.

289 Sabida ya la razon en que se ha de dividir una cantidad determinada de agua, la resolucion de lo que á cada cuartel, barrio, corporacion ó particular le corresponde, se hallará como si fuese una regla de compañía (§ 210 Arit. de Niños), diciendo: *la suma de todos los números que espresan las razones en que se ha de repartir el agua, es á la cantidad de agua que hay que repartir, como el número que espresa la razon respecto de cada cuartel, barrio, corporacion ó particular, es á la cantidad de agua que á cada partícipe corresponde.*

290 Para hacer una aplicacion posible en la práctica, y al mismo tiempo útil, conveniente y necesaria, observarémos que, segun lo espuesto en mi Memoria sobre la nivelacion del Jarama, Lozoya y Guadalix (Pág. 495 del Mercurio de octubre de 1824), en tiempo de *don Juan Claudio Aznar de Polanco*, «el agua que venía á Madrid eran 306 rs. en esta forma: 100 el viaje de la fuente Cas-

tellana, 70 el del Arroyo Abroñigal alto, y 136 el viaje bajo del mismo Arroyo." La notoria escasez de agua que se nota en Madrid, hace indispensable surtir á esta Capital de agua en abundancia; y por mis investigaciones posteriores á dicha Memoria, sería muy fácil proporcionar á Madrid *dos mil rs. de agua con ménos de diez millones de gastos*. Pues supongamos que se quisiesen distribuir estos *dos mil rs. de agua* en la misma razon que se distribuía en tiempo de Polanco, á saber, en tres partes ó conductos que proporcionasen cada uno cantidades de agua que guardasen la razon del número 100, al 70, y al 136.

En este caso, diríamos $306 : 2000 :: 100 : 653\frac{182}{306}$; por lo que corresponderían á toda la parte de la poblacion de Madrid que en tiempo de Polanco recibía el agua del viaje de la fuente Castellana $653\frac{182}{306}$ rs. de agua.

Para encontrar la cantidad que correspondía á la parte de la poblacion entre que se distribuía el agua del viaje del Arroyo Abroñigal alto, diríamos $306 : 2000 :: 70 : 457\frac{158}{306}$; y sacaríamos que correspondían $457\frac{158}{306}$ rs. de agua; y para hallar la perteneciente á la barriada entre que se distribuía el viaje bajo del mismo Arroyo, diríamos $306 : 2000 :: 136 : 888\frac{272}{306}$rs. de agua.

Ahora, pues que los números $653\frac{182}{306}$, $457\frac{158}{306}$, $888\frac{272}{306}$, tienen una magnitud bien sensible, podríamos hacer que la espresada agua fuese á parar á un depósito que tuviese tres aberturas rectangulares, todas de igual altura, y en que las bases guardasen la misma razon que los espresados números $653\frac{182}{306}$, $457\frac{158}{306}$ y $888\frac{272}{306}$, y entónces, ya aumentase, ya disminuyese el agua, como las cantidades que saldrían por dichas aberturas guardarían siempre la misma razon que sus superficies y estas guardan la misma razon que las bases (§ 352 IC), no hay duda en que se obtendrían siempre cantidades proporcionales de agua.

291 Este método solo es aplicable como en este caso, cuando todos los números tienen una magnitud sensible; pero si hubiese algunos que fuesen demasiado pequeños en comparacion de los otros, entónces las aberturas rectangulares presentan el inconveniente de que, siendo muy angostas, el légamo y demas inmundicias que, por lo regular lleva el agua, las ciega con facilidad; y por otra parte los rozamientos al pasar por las aberturas son mucho mayores, y aunque estos inconvenientes se podrían en mi concepto disminuir, teniendo cuidado de limpiar con frecuencia dichas aberturas, y aumentando algo las pequeñas, para que en proporcion al mayor roza-

miento, saliese siempre una cantidad de agua exactamente proporcional, no obstante, lo que se practica mas generalmente es hacer circulares las aberturas, á pesar de que tienen tambien sus inconvenientes.

292 Para aclarar esto, y al mismo tiempo suministrar resultados útiles, supongamos que los $457\frac{158}{306}=457{,}51634$ rs. de agua que deberían distribuirse en la parte de la poblacion que se surtía del viaje del Arroyo Abroñigal alto, se deba ahora distribuir en cuatro conductos parciales en que las cantidades de agua que deban suministrar guarden entre sí la razon de los números 5, 30, 50 y 60.

Para encontrar los rs. de agua que deberían corresponder á cada una de dichas aberturas, formaríamos las proporciones análogas á las de la regla de compañía, que siguen

$$145 : 457{,}51634 :: 5 : 15{,}77642$$
$$145 : 457{,}51634 :: 30 : 94{,}65855$$
$$145 : 457{,}51634 :: 50 : 157{,}76425$$
$$145 : 457{,}51634 :: 60 : 189{,}31711$$

Cuyos cuatro términos espresan que por el primer orificio deberían salir 15,77642 rs. de agua; por el segundo 94,65855; por el tercero 157,76425, y por el cuarto 189,31711; de donde resulta, que si se hallasen las superficies de cuatro círculos que guardasen la razon de estos cuatro números, y se colocasen en unas mismas circunstancias, parece que deberían suministrar cantidades de agua proporcionales; pero no sucede así. En efecto, como aquí los diámetros deberían ser bien sensibles, si todos los centros de los cuatro círculos se colocasen en línea recta, como los *A,B,C,D* (fig. 48 lám. 3.ª), se verificaría que, aunque los centros tendrían una misma carga de agua, como la relacion de los radios con la altura del agua en el depósito no sería la misma, resulta que en virtud de la fórmula ((70) § 138) no saldrían por estos orificios cantidades proporcionales de agua. Esto no obstante, aunque con alguna dificultad, se podría calcular el tamaño de los espresados orificios, teniendo en consideracion la relacion variable del radio con la altura, á fin de que entre todos diesen el gasto total del depósito, y que cada uno proporcionalmente suministrase la cantidad que le corresponde. Mas, á pesar de esto, aun resultarían graves inconvenientes cuando aumentase ó disminuyese la cantidad total de agua. En efecto, colocados los centros en línea recta como en *A,B,C,D*, si el agua disminuyese hasta el punto *b*, la cantidad de agua que saldría por el círculo *D*, habría disminuido no solo por el segmento que falta á su

superficie, sinó porque la presion relativa es menor en la otra parte que forma la seccion efectiva del agua, que en los otros; y cuando el agua llegue á c, la seccion de los círculos A, B no ha disminuido nada, y sí la de los C, D. Cuando el agua llegue á d, resulta que la seccion del círculo A no habrá disminuido nada, siendo así que en las otras tres habría disminuido considerablemente y con desigualdad. Al llegar el agua á e, por el círculo A, no saldría ya ninguna cantidad de agua, cuando por los otros sí. Análogos inconvenientes resultan de colocar los espresados círculos de modo que sus puntos superiores ó inferiores toquen á una misma recta, como espresan las posiciones $A,' B,' C,' D,'$ y $A,'' B,'' C,'' D.''$

293 Para obviar estos inconvenientes, lo que se hace es elegir un círculo pequeño, que sirva de unidad de medida, como por ejemplo el real, y hacer que quince de estos circulitos fuesen á reunirse en un solo conducto, despreciando la parte decimal, ó poniendo un semicírculo en vez de ella; pues equivale á mas de la mitad; hacer que 94 de estos circulitos se reuniesen en un solo conducto, ó mas exactamente 94 circulitos y otro medio circulito verticalmente por la parte decimal; que otros 157 circulitos ó 157 circulitos y medio por la parte decimal, se reuniesen en otro conducto y que otros 189 se reuniesen tambien en un solo conducto; y de este modo resultaba hecha la distribucion con la aproximacion competente.

294 Aquí, no obstante, sería demasiado chica la unidad y se tendrían que hacer 457 agugeros; lo cual era demasiado engorroso, y por lo mismo se debería elegir otra unidad algo mayor; mas como lo que en esta cuestion se presenta bastante proporcionado, es tomar por unidad el círculo menor, por donde deberán salir los 15,77642 reales de agua, si dividimos los otros tres números por este, sacarémos por cocientes el 6, el 10 y el 12. Con lo cual estaba reducida la operacion á ejecutar veinte y nueve círculos iguales, y hacer que uno de ellos vaya por un solo conducto L (fig. 49); que 6 de ellos vayan á reunirse en un solo conducto M; que 10 de ellos vayan á reunirse en un solo conducto N; y los otros 12 en otro conducto P: y estando los centros de estos círculos en línea recta ó á un mismo nivel se tenía una completa seguridad de que, suban ó bajen las aguas, en todas las barriadas de la poblacion se disfrutaría proporcionalmente de la justa cantidad de agua que corresponde.

295 Solo nos falta ya manifestar cual es el diámetro que deberá tener el orificio para que suministre los 15,77642 reales de agua; y como esta cuestion la dejamos resuelta (§ 141), donde hemos en-

contrado que el diámetro del orificio debe tener 0,15614 de pie ó 1 pulgada y 10 líneas, debiendo ser la longitud del tubo unas 2½ veces el diámetro, resulta que deberá tener 0,39035 de pie ó 4 pulgadas y 8 líneas, debiendo estar la altura del nivel del agua en el depósito un dedo ó $\frac{1}{16}$ sobre la parte superior de los espresados círculos: con lo cual queda enteramente resuelta esta importante cuestion.

296 *Mariotte* se decidía por adoptar los orificios rectangulares, abandonando los circulares. *Mr. Bossut*, ademas de los inconvenientes que hemos reconocido en los orificios rectangulares, añade que, "son muy difíciles de hacer con precision." En lo cual no estamos acordes, porque en mi concepto hay muchas mas dificultades para hacer un orificio circular exacto. Y como los otros inconvenientes serían fáciles de remediar, ya por lo que llevo indicado y ya tambien porque poniendo filtros, lo que se consigue con mucha facilidad (en virtud de lo que espondrémos cap. 2.º libro 8.º), se obtenía la ventaja de que el agua viniese pura, limpia y cristalina, y no tan turbia como la que se obtiene en Madrid en los barrios de Maravillas, Guardias de Corps, &c.; que parece orchata, por contener cal y yeso, que la hacen mal sana.

Por todo lo cual, en casos de esta naturaleza, á pesar de que he visto establecida en París, Versalles y Marly la práctica de los orificios circulares, sería de dictámen de que para la distribucion de las aguas, al ménos en grande, se deberían preferir las aberturás rectangulares.

CAPÍTULO XII.

Indicaciones generales y observaciones ó máximas que se deben tener presentes en la conduccion de las aguas; é idéas ó nociones estractadas de varias obras que pueden ilustrar el objeto que en esta nos proponemos.

297 Aunque al resolver cada cuestion práctica, hemos procurado llamar la atencion acerca de las circunstancias que se deben tener presentes, no será inoportuno el que ahora pongamos aquí bajo un punto de vista las principales máximas ó principios generales que se deben tener en consideracion al construir las obras necesarias para conducir las aguas á los parages donde sean indispensables.

Ya hemos dicho (144) que el agua dirigiéndose siempre por los puntos mas bajos de la superficie terrestre, es muy rara la ocasion en que se puede emplear en las mismas localidades por donde sale ó

pasa naturalmente; y como ya se haga uso de ella para satisfacer las necesidades indispensables del vecindario de los pueblos, ya en los usos de la Agricultura, ya para que sirva de motor en las máquinas de los establecimientos industriales, es indispensable conducirla de los parages por donde se presenta ó tiene establecido su curso á la localidad en que se necesita, debemos hacer las advertencias mas importantes acerca de la construccion de las obras conducentes á este objeto. Tambien hemos indicado allí que estas obras se designan con los nombres de *canales*, *acequias*, *caces*, y que tambien se suele hacer con *tubos de conduccion*, *cañerías* ó *encañados*.

298 Mas ahora debemos añadir, que aunque se suele hacer uso de estas palabras indistintamente, no obstante, cada una tiene una aplicacion mas propia en unos casos que en otros. La palabra *acueducto* se debe aplicar con mas propiedad cuando el objeto de la conduccion del agua es el abastecer á los vecindarios de los pueblos, y cuando esta obra se hace de mampostería ó albañilería. La palabra *acequia* lleva consigo la idéa de servir, por lo general, para el regadío, y ser de poca consideracion; la palabra *caz* lleva la idéa de ser una zanja ó abertura que se hace para conducir el agua de los rios á los molinos, ó en general á los establecimientos de industria; y la palabra *canal* lleva la de servir por lo general para la navegacion; pues cuando es solo para regar, se denomina *canal de regadío*; cuando reune la navegacion y el regadío, se llama *canal de navegacion y de regadío*; y cuando sirve para desecar algun lago, laguna ó pantano se denomina *canal de desecamiento*.

299 La circunstancia mas esencial que se ha de verificar en la conduccion de las aguas, es la de *hacer llegar con la mayor economía, en un tiempo dado, y del modo mas permanente, la mayor cantidad de agua*. El conciliar bien todos estos requisitos, para conseguir tan importante objeto, es sumamente interesante, y no se debe abandonar al empirismo, como por desgracia sucede con frecuencia, sinó que se debe proceder con la mayor exactitud por los conocimientos que ya hemos manifestado.

Esto supuesto, los principios, bases ó máximas que se reconocen como mas adecuados para conseguir tan interesante objeto son las siguientes.

300 La toma de aguas debe hacerse en el parage mas elevado posible, tanto porque de este modo es mas fácil conducirla, donde se quiera, como porque se puede hacer mas estensiva su utilidad en todos sentidos.

301 La pendiente que se debe dar al canal, acequia, &c., debe ser la rigurosamente necesaria para que el agua no se detenga en su curso por el rozamiento que sufre en la solera ó lecho del canal, acequia ó caz; y para que disminuyéndose todo lo posible las filtraciones y las evaporaciones, suministre el canal, en el parage donde desemboca, una cantidad de agua que se aproxime lo mas posible á la cantidad que en él ha entrado. Como la determinacion de este declive es uno de los puntos mas interesantes, juzgamos conveniente, útil y necesario hacer aun algunas indicaciones mas sobre este particular.

Si el agua no esperimentase rozamiento por parte del lecho donde corre, tendríamos que en un canal, rio, arroyo, &c., cuyo fondo tuviese la posicion horizontal, la superficie superior del agua sería horizontal y paralela al fondo, y correría sin alterar su movimiento, cualquiera que fuese la longitud del espresado *lecho*, *madre*, *solera* &c., con la velocidad correspondiente á la altura del agua en el depósito. Pero, á causa del espresado rozamiento, es raro el que se construyan horizontalmente los canales. En estos se ha observado lo siguiente.

Supongamos que *ABCD* (fig. 50 lám. 3.ª) sea el perfil de un depósito de agua que la suministre á un canal, cuyo fondo sea horizontal, y cuyo perfil esté representado por *CFG*, y que reciba el agua del depósito por una compuerta que se puede levantar arbitrariamente en *E*. Tan luego como se levanta dicha compuerta, el agua sale del depósito con la velocidad debida á la altura *CB*, siguiendo al principio solo la direccion *EF* del canal, y disminuyendo su velocidad á medida que se aleja del orificio. Mas como en su tránsito se le presentan resistencias por el rozamiento con el suelo y paredes del canal, el agua se hincha ó entumece, y su superficie superior toma la forma *EMG*; entónces el agua, en virtud de su propio peso, vuelve á caer desde el punto mas elevado *M*, y parte de la misma vuelve hácia el depósito en la direccion *MN*: resultando por este medio en la parte *CEMNmQ* del canal, dos corrientes que van en sentido contrario, una formada por el agua inferior *CENmQ*, que va en la direccion *CF*, y la otra por el agua superior *MmN*, que vuelve en el sentido *MN*. Este movimiento es muy sensible cuando principia, y se termina en *N* á unos 12 pies del orificio *EC*. Poco á poco disminuye, aunque siempre subsiste; y la superficie del agua concluye por tomar la forma *EmRG*, donde el punto *R* es el mas elevado sobre el fondo. El agua que sale á cada instante del depósito choca contínuamente en *NO* á la masa *NOFG*, se mezcla con

ella, y dicha masa, que se renueva sin cesar, conserva la misma figura. Estas corrientes existen continuamente en los rios, en los mares &c., donde el agua encuentra obstáculos en su curso. Se advierte que el agua en estos casos debe hincharse ó entumecerse al principio, y que despues su peso obligándola á esparcirse, resultan corrientes que pueden tener toda clase de direcciones. Por esta causa se reputa como indispensable el dar una cierta pendiente ó declive á la solera, ó fondo de toda corriente de agua, y su determinacion es un punto muy trascendental y al mismo tiempo el mas difícil.

Si se da poco declive al canal, es preciso hacer mayor su caja, lo que origina mas gastos; y siendo la superficie del agua mayor, hay mas evaporacion, y por consiguiente mas pérdida de aguas. Siendo mayor la caja, el perímetro mojado aumenta, y las filtraciones crecen por dos causas, á saber, por haber mayor superficie del líquido en contacto con el terreno por donde se filtre, y porque teniendo ménos velocidad el agua, ejerce mayor presion en el fondo y las paredes (§ 143), y además es necesario añadir los accidentes de las heladas; pues es mas fácil helarse el agua cuando es lento su movimiento. Pero puede haber ocasiones en que todos estos inconvenientes sean de menor cuantía, que las ventajas que pueden resultar de que el agua llegue á un punto determinado para satisfacer alguna necesidad del vecindario, de la agricultura, ó de la industria.

Si se le da mucho declive, es menor la evaporacion y las filtraciones, y cuesta ménos la abertura de la caja del canal; pero resultan los inconvenientes de que se pierde altura en el parage á que se destina; y por otra parte, siendo mayor la velocidad, corroe ó destruye mas fácilmente la caja del canal. De todas suertes, en los paises frios conviene dar mas pendiente que en los paises cálidos para disminuir los inconvenientes de las heladas. Luego el declive que mejor concilie todas estas circunstancias, reuniendo el mayor número de ventajas con el menor número de inconvenientes, será el mas adecuado.

302 Los antiguos daban unos declives excesivos. *Plinio* juzgaba que se debía dar un pie de pendiente á cada 400 pies de distancia horizontal. *Paladio* era de opinion de que fuera pie y medio de inclinacion por 100 de distancia ó $\frac{1}{66{,}67}$; *Vitrubio* señaló $\frac{1}{200}$; *Belidor* reconoció que todos estos declives eran demasiado grandes, y establece que cuando el suelo no sea escabroso, se puede seguir siempre por regla general el dar un pie de inclinacion en cada 3600 de distancia horizontal. Y hasta el tiempo de *Dubuat* sostuvieron los Hidráulicos que no había velocidad sensible cuando la inclinacion, pen-

diente, ó declive llegaba á ser 1 por 7200 de distancia, pero segun hemos manifestado (§ 71 lib. 2.º) los esperimentos y observaciones de este Sabio han dado á conocer que hay todavía movimientos bien perceptibles aun cuando el declive sea 1 por 500000 de distancia horizontal.

303 Debemos repetir con este motivo, que todos los Autores, al mencionar los declives, suponen, que esto es independiente de las localidades, y me parece haber sido yo el primero que he llamado la atencion (véase pág. 600 del Mercurio de noviembre de 1824) acerca de que, *para determinar los declives, es preciso atender á la fuerza de la gravedad*; y tanto, por lo espuesto en el parage citado, como por otras reflexiones y reconocimientos que tengo practicados, me parece que en España se podrá establecer que el *menor declive que se podrá dar á los canales, acequias, acueductos, que hayan de servir para conducir aguas potables*, es el de 1 por 9450 de distancia horizontal, en atencion á que para conservar el agua su salubridad conviene que venga lo mas traqueada posible; y si hubiese un declive menor que el $\frac{1}{9450}$ que acabamos de señalar como límite, ya las aguas dejarían de tener la salubridad necesaria y participarían mas ó ménos de las propiedades de las estancadas.

304 Se ha reconocido, en virtud de muchas observaciones, que *cuando el declive de un canal es la décima parte de su* longitud, la velocidad *del agua es la misma al entrar en el canal que en cualquiera de sus partes y que á su salida*: de manera, que en este caso la velocidad es sobre poco mas ó ménos la misma que si el canal fuese horizontal y no hubiese rozamiento. Si la inclinacion fuese mayor que $\frac{1}{10}$, la velocidad aumentaría con movimiento acelerado; y disminuiría la velocidad, si la inclinacion disminuye acercándose á la situacion horizontal. Pero disminuirá ménos á proporcion que la carga sea mayor, que el canal tenga mas profundidad, y que haya una masa de agua mas considerable.

305 El declive, tanto de los canales como de los acueductos, debe ser lo mas uniforme posible. Cuando no hay una necesidad absoluta de economizar las aguas, se puede establecer en general que el declive en los canales de regadío, acueductos, &c., podrá estar comprendido entre $\frac{1}{7000}$ y $\frac{1}{12000}$; pero se debe tener presente que en las inmediaciones del punto donde se toman las aguas de un canal ó acequia, se le debe dar mayor declive, para que el agua no rebalse hácia su orígen, ó impida que entre en el canal ó acequia la competente cantidad.

306 Aunque el rozamiento influye para detener el movimiento del agua en cada instante, debe siempre pasar la misma cantidad de agua en cada trecho del canal; pues cuando la velocidad mengua por algun obstáculo, el agua se eleva ejerciendo sobre sí misma una presion mayor, destruye ó vence el obstáculo que le opone el rozamiento, y conserva el movimiento adquirido en la embocadura.

307 De todo lo cual resulta que en el movimiento del agua en un canal, acequia, rio, caz &c. influyen tres causas, á saber: la presion en la embocadura, la presion del agua misma que corre, sobre la que va delante, y últimamente la inclinacion del canal.

308 Aunque nuestro objeto no puede ser el entrar en todos los detalles de construccion, sin embargo, cuando se nos proporcione hacer alguna observacion útil, jamas la omitirémos. Por esta causa, debemos advertir que casi todos los Autores aconsejan que se principie la construccion por el parage donde ha de terminar el canal y que se vaya remontando hasta el arroyo ó rio, cuyas aguas se quieren tomar. Esta máxima no la considero yo tan absolutamente necesaria; pues de este modo el conducto no puede prestar utilidad alguna hasta su conclusion; y por otra parte un ligero error en la nivelacion, de aquellos que suelen ocurrir con bastante frecuencia, pueden inutilizar en todo ó en parte la obra ejecutada. Principiando, al contrario por la parte superior, á medida que se va abriendo, produce utilidad si es para regadío, y se tiene al mismo tiempo el medio de comprobar si en la parte ejecutada se ha cometido algun defecto, como el de examinar si corre el agua en los términos que se necesita &c. Por otra parte, siendo mi principal objeto, no el enseñar todo lo relativo á la ejecucion de las obras, porque esto me distraería demasiado, sinó el de indicar las idéas nuevas que puedan conducir á ejecutarlas con economía de dinero, fatiga ó tiempo, lo que no puedo ménos de manifestar es que se pueden obtener ventajas de mucha consideracion, al ménos en muchos parages, principiando la obra por el punto donde se toman las aguas y haciendo que el impulso de estas sirva para la misma abertura de las zanjas ó caja del canal.

309 En efecto, en todas aquellas localidades en que las tierras que se sacan de la zanja ó caja no son necesarias para elevar sus orillas, podría economizarse mucho el trabajo, abriendo primero una zanja muy estrecha (para lo cual podría servir el instrumento *Ceres* inventado por don Andres Alvarez Guerra) y echando despues el agua; y poniéndose los hombres con palas, azadas, &c. á re-

mover la tierra del fondo y orillas, el agua coadyuva mucho al desprendimiento de las tierras, y arrastrándolas ó llevándolas en disolucion ó en suspension, evitan mucho trabajo, y resultará mucha economía. Y aunque parezca esto una cosa de poca consideracion, no obstante, jamas debe perderse de vista que *en toda empresa, el primer provecho que se obtiene es la suma de todas las economías* que se hagan en su plantificacion; y si se puede conseguir con la cuarta parte del gasto ménos, por ejemplo, resultan unas ventajas de mas consideracion de lo que se piensa. Y para dar un ejemplo de ellas, supongamos que en una empresa dirigida por el método regular se necesiten 80000 duros, y que ejecutándola con las economías que resultan de los conocimientos científicos, análogos á los que acabamos de citar, se consigue su ejecucion con solos 60000 duros. Supongamos que el producto de la obra anualmente sea 9600 duros; este rédito con relacion al gasto de 80000 duros que hubiera costado sin las economías que proporciona la ciencia, equivale solo á un 12 por 100; y considerado con relacion al capital efectivo de 60000 duros que ha costado, equivale á 16 por 100. Por otra parte, es mas difícil que haya personas que puedan desprenderse de ochenta mil duros para una empresa, que no el hallarlas que se puedan desprender de sesenta mil. Y esta es una de las razones mas poderosas por las que deja de realizarse gran número de proyectos de la mayor utilidad.

En prueba de lo ventajoso que puede ser el practicar las obras hidráulicas por el punto donde se toman las aguas, citaré un hecho que yo mismo he presenciado.

Al practicar la nivelacion del Jarama, Lozoya y Guadalix, que verifiqué en virtud de Real órden el año de 1819, reconocí un molino casi concluido un poco mas arriba de San Agustin cerca de las orillas del mismo Guadalix; pregunté el objeto de aquel edificio, y me dijeron que era un molino, que despues de concluido, y hecho el caz, se vió que el agua no llegaba á él; y el dueño quedó arruinado perdiendo todo el capital gastado. Lo que no hubiera sucedido por cierto si, habiendo principiado la obra por arriba, se hubiera ido comprobando si el agua corría; pues entónces habiendo hecho el molino en parage donde llegaba el agua, no se hubiera perdido aquel capital, se hubiera evitado la ruina de una familia, y el pueblo de San Agustin hubiera recibido las ventajas que resultan de tener un molino mas en sus inmediaciones.

310 Acerca de la conduccion de las aguas por tubos, encaña-

dos &c., debemos observar que la diminucioon de velocidad, que se nota en ellos, indudablemente proviene en gran parte del rozamiento del agua contra las paredes del tubo: lo cual es inevitable, aun cuando se usasen tubos perfectamente pulimentados interiormente, y cualquiera que sea la materia empleada en su fabricacion.

Dicho rozamiento aumenta en razon de la longitud del conducto, y por consiguiente en razon de la estension de las superficies sobre que reshala el agua. Tambien aumenta en razon inversa del diámetro de los tubos.

311 Si el tubo de conduccion es rectilíneo y horizontal, la velocidad del agua disminuye á medida que camina en este tubo; y se concibe que la longitud puede ser tal que el agua no salga sinó gota á gota: esto es precisamente lo que tiene comprobado frecuentemente la esperiencia.

Si el tubo es inclinado al horizonte, se verifica mejor el movimiento; pero la velocidad del agua tambien disminuiría, de manera, que hay reducciones que hacer en las cantidades de agua que salen de un depósito por un simple orificio ó por el estremo de un tubo, cuando con las mismas aberturas se emplean largos tubos para conducirla y dirigir su curso.

312 *Mr. Bossut* ha notado que con dos tubos de conduccion horizontales, que cada uno tenía 180 pies de longitud, el uno de 16 *líneas*, y el otro de 2 *pulgadas* de diámetro, bajo una carga de 16 líneas sobre el eje de cada uno de ellos, no se verificaba la salida del agua en el estremo de estos tubos sinó gota á gota: por lo que, segun el mismo Autor, es necesario inclinar el tubo al ménos $\frac{1}{3}$ de *línea en cada toesa*; lo que equivale á dar $\frac{1}{2592}$ de inclinacion, para obtener un filete contínuo por chorro. Mayor altura de carga, ó un volúmen mas considerable de agua, como el de un rio, pueden hasta cierto punto suplir al declive del tubo de conduccion.

En este ejemplo, el rozamiento es tal, que casi toda la velocidad del agua se destruye, pues que el movimiento es casi nulo.

Inclinando un tubo de conduccion, el agua se encuentra sometida en él á la accion de la pesantez relativa, que la lleva consigo y repara mas ó ménos la pérdida de movimiento ocasionada por los rozamientos segun el tubo se halle mas ó ménos inclinado.

313 Esta alteracion de movimiento es aun mayor en los tubos curvilíneos que en los rectilíneos; y resulta de los esperimentos de *Bossut*: 1.° que proporcionalmente hay ménos pérdida cuando la altura del depósito es mayor que cuando es menor, 2.° Que dismi-

nuye mas el gasto en los tubos curvilíneos que en los rectilíneos. Sin embargo, el rozamiento debe ser aproximadamente el mismo en ambos casos; pero el movimiento del agua se retarda en el tránsito sinuoso que se ve en precision de hacer por los choques sucesivos que se verifican contra los diferentes codos del tubo. 3.º En fin, que hay mas pérdida de movimiento por el tubo cuyas sinuosidades son verticales, que por aquel cuyas sinuosidades son horizontales; de donde se sigue, como lo observa con razon el Autor de estos esperimentos, que si se tuviese que conducir agua de un punto á otro, entre los cuales se hallase una montaña, sería preferible hacer que el tubo de conduccion circuya la montaña por recodos horizontales, que remontar la inclinacion de la montaña con el tubo, si el desarrollo del conducto no fuese mucho mayor en un caso que en otro.

314 En el tránsito del agua por conductos que tengan inclinaciones y contra-inclinaciones verticales, se presenta un fenómeno importante y es: *que el aire se acantona en los recodos superiores del conducto, y se opone al paso del agua si no se tiene la precaucion de proporcionarle salida.*

Ordinariamente se sueldan, en el vértice de cada recodo de un conducto, pequeños tubos de plomo ajustando á su orificio superior una válvula que se abre de dentro á fuera; la cual pesa lo suficiente para quedar cerrada mientras que el agua no viene á levantarla, saliendo al pequeño tubo; lo que sucede cuando el aire se ha escapado. Se emplean tambien grifones ó llaves, que se tienen abiertas, hasta que el paso esté bien establecido. A los estremos de estos tubos se les llama *ventosas*, y de cuyo punto ha tratado *Mr. Couplet* con mucha maestría. Por una parte el rozamiento, las resistencias particulares que el agua esperimenta en los tubos; y por otra el choque del agua contra los recodos, y la intervencion del aire en todo el curso del agua en el conducto, alteran el gasto con tantas variaciones, que solo despues de haber reunido los resultados de muchos esperimentos directos sobre este asunto, es posible establecer *algunas relaciones aproximadas* entre los gastos valuados, haciendo abstraccion de las resistencias y los gastos *efectivos* que se obtienen en la práctica.

315 En diferentes parages de esta obra, se echará de ver que siempre que podamos reemplazar nuestras propias idéas por las de Sabios juiciosos y de mérito, lo ejecutamos con el objeto de corroborar nuestra opinion, y dar á conocer que lo que decimos en esta parte no es por querer aparentar ni superioridad, ni orgullo

científico, &c., &c.; sinó porque, estando persuadidos de las inmensas ventajas que la plantificacion de las idéas que aquí espongo deben resultar á los Españoles, me parece que adquirirá mayor realce la doctrina que espongo en esta obra, si manifiesto los parages de los Autores mas célebres que en todos tiempos, circunstancias y paises han manifestado idéas análogas á las que yo espreso aquí.

Por esta causa no puedo ménos de indicar que todas las máximas ó bases, que llevamos sentadas en este capítulo, las he confrontado y están en un todo conformes con las de los Autores que se han ocupado de esta materia, entre los que no puedo dejar de citar á *Mr. Christian* Director del Real Conservatorio de Artes y Oficios de París, que se ocupa de tan interesante asunto en el primer tomo de su *Tratado de Mecánica industrial ó esposicion de la ciencia de la Mecánica, deducida de la esperiencia y de la observacion, impresa en París año de* 1822.

316 Mas lo que ahora vamos á esponer es una especie de estracto de aquellas obras que nos parecen mas interesantes bajo los diversos puntos de vista que comprende este capítulo en particular, y el todo de esta nuestra obra en general.

317 Principiarémos por la obra intitulada *Fluencia de la tierra y curso subterráneo de las aguas por don Teodoro Ardemans, arquitecto y tracista mayor de las obras Reales, maestro mayor de las de Madrid, veedor de las conducciones de las aguas, &c., &c., &c.,* impresa en Madrid por Francisco del Hierro año de 1784.

El capítulo VII de esta obra trata *del modo de degollar las aguas de los manantiales descubiertos, y dice así:*

"He divertido el tiempo en tratar de diversas cosas, que aunque algunas no parecen del ejercicio de la fontanería, ni de conducciones de aguas, yo soy de dictámen son muy del caso, así para los profesores de este arte como para los curiosos, que aunque hay algunos que pueden pasar sin documentos, hay otros que desean saber y se precian de tener mas buenas noticias; y así para unos como para otros sirven las mas dilatadas; y para cualquier curioso especulativo, que gusta de investigar las cosas con fundamento, y despues de haber discurrido el modo de conocer los terrenos donde está el agua, será muy del caso referir el modo de degollarlas para que surtan donde se pretende; y digo que teniendo ya el manantial señalado donde se vió humear, y se acreditó con las demas diligencias y señales, las que fueron supongamos en la ladera de un collado con-

tigua á un valle no muy profundo, allí se abrirá un pozo donde se reconocerá á qué profundidad está el agua firme; ó una zanja ó cortadura en línea curva de ochenta pies de largo, cuatro de ancho, y su profundidad la que se hubiese visto en el pozo del agua firme: y en considerando lo que ha menester, no hay que detenerse, y teniendo presente que el agua aunque viene muchas veces por una vena sola, suele á un lado de ella haber unos nudos tan sumamente apretados que no la deja fluir, y á muy poca distancia suele brotar el agua por otra parte en lo comprendido de la mina, por cuyo motivo he discurrido hacer esta cortadura tan dilatada; y si en la zanja ó cortadura no surtiese lo bastante, de ella misma nacerán cinco ramales en forma de una mano, largos, lo que le pareciere al operante que necesita, y no mas profundos que la zanja principal, sinó que ántes del principio de ellos queden un poquito mas elevados, y segun la distancia de lo largo de su línea se levantarán de atras, de suerte que queden con bastante desnivel, y que en su distancia no quede tropiezo ninguno para que le sirva de detencion al agua. Creo que con esta diligencia se acrecentará mucha mas agua, porque todas las que hubiese en su circunferencia todas concurrirán á aquel parage, y se hallará la cortadura ó zanja principal con cantidad de agua, y consiguiendo esto se podrá formar, y á la distancia que le pareciere conveniente en dicha mina, se formará su arca principal que trae la tajea, que se ha de hacer para conducir el agua por dicha mina, y dentro de ella su arquilla donde ha de verter el caño que se embistiese, y desde la arquilla ha de descender al parage que se pretende; y se advierte que en la arquilla referida se ha de hacer el suelo de ella media vara mas bajo que el caño para que sirva de detener el légamo y arenillas que trae el agua consigo, y en esta misma arquilla se dejará su desaguadero, de suerte que en concurriendo mucha agua, procedida de los manantiales, que superabunda, y no cabe por las cañerías si las hay, se vaya al campo y no perjudique tajea ó cañerías. El embocadero del desaguadero ha de estar mas alto un poco que el surtidor y embocador del viage, observando el que le hiciere tenga muy buen surtimiento y desnivel al dicho campo. El arca principal se fabricará de la materia que hubiese mas proporcionada en el parage, como sea piedra de cualquier género ó ladrillo."

En el capítulo XIV trata "*de la conduccion de las aguas; de su nacimiento hasta el lugar donde han de surtir, y como han de ser las tajeas ó cañerías donde hubiere de ir cada cosa*"; y dice asi.

»Ya que se ha tratado de asegurar el agua en el manantial y abierto la mina por donde ha de caminar el viage, es necesario poner su tajea por donde ha de llevar su viage el agua, y tambien si se hallase en su camino otro manantial, recogerse para mayor aumento del viage si fuere buena el agua y si no separarla, y así se hará su tajea del hueco y altura que pidiere el golpe de agua. Despues se levantarán sus paredes de piedra de pedernal, ó de otra que no se demuela con la humedad y se irá sentando en seco, muy bien sentada de suerte que no se desbarate, y estas paredes han de arrimar con su grueso hasta las paredes del terreno, y si este está muy suelto en la parte baja ó superficie, se le echará una tonga de piedra, y despues que estén enrasadas las paredes, se buscarán unos lanchones de la misma piedra y se enchinará muy bien para que cuando se le eche mezcla de cal y arena encima no se traspore nada abajo, y sobre la capa de la mezcla, se echará una tonga de arena para poder andar por encima, y de esta suerte, se irá siguiendo hasta hallar novedad en el terreno y llegar al plomo del pozo donde se ha de hacer su arca de descanso, la cual nunca se ha de hacer á plomo del mismo pozo, sinó es metida á un lado, porque lo que cayere de arriba no se introduzca dentro, y si el terreno no fuese favorable, se le echará un par de galápagos de albañilería encima del arca, y hacer el embocadero del pozo tambien de albañilería, y de esta suerte se irá prosiguiendo adelante con el viage hasta su fenecimiento, escepto si en la distancia de su camino se hallase algun manantial que su agua no sea tal como la que trae: en este caso, si fuere cantidad, se recogerá en cañería y se conducirá por un costado á la tajea y se llevará hasta darle el surtidero donde fuere la voluntad del dueño, y si de él no quisiese aprovecharse, se le puede poner al manantial un trozo de mina por un lado, con bastante declinacion, que él se divertirá, y tambien aunque esté abierta la mina, si en el discurso de la obra se halla algun trozo de terreno se derumbia mucho, y es preciso por esto y por otros accidentes mudar de línea, y como es recta, hacerla curva, se debe hacer abriéndola nuevamente é incorporándola con lo que va adelante, como tambien si de pozo á pozo se encontrare con terreno que sea preciso encañar aquel trozo de viage, se ejecutará haciendo las cañerías, de suerte que quepa el agua muy sobradamente con la holgura (porque es mala materia para oprimida) y se encarga al artífice que siempre que se ofrezcan ángulos ó codillos que no sean rectos, se han de romper en piedra, porque es materia que resiste mas que otra, con líneas curvas, porque el agua corra con

mas suavidad y sin embarazo que se le oponga; y volviendo á las natajeas digo, que solo se estilan en los viages del campo, desde su nacimiento hasta las arcas principales, y en estas es donde se reparten las aguas á otras para que surtan las fuentes públicas y particulares, y en la caja que hay dentro del arca que esta ha de ser de piedra ó plomo, porque es metal mas acomodado, así para manejarle como para comprarle (aunque es mal metal para cañerías). Los antiguos las hicieron de madera, caños de barro, de piedra, de bronce y de hierro, y traían el agua por cañerías de teja compuesta. Los caños de madera se pudren y prestan mal color, olor, y sabor al agua. La de plomo cria mucho légamo y horruna; la de piedra cria mucha toba y légamo: la de bronce es la mas limpia, pero no la mas ligera para la bolsa. La cañería de hierro vaciado dura poco, porque el moho del hierro la gasta muy pronto y cuesta mucho; pero no es tan perjudicial á la salud como la de otros metales, porque tiene su azufre * que es muy medicinal como he dicho. La cañería de barro entre todas es la mejor para la salud y perfeccion del agua; y la mas cómoda al gusto y la que endulza mas el agua; y así los caños de barro se ejecutan de dos pies de largo, uno con un macho y otro con una hembra cada uno de cuatro dedos de largo. Los diámetros son diferentes, porque el menor que se da es de cuatro dedos y uno de grueso, y el mayor es de caños que llaman de á nueve: estos tienen el propio largo; pero nueve dedos de diámetro, y dos de grueso, aunque no cabales. Tambien hay otros caños intermedios que llaman de á seis, con seis dedos de diámetro, y si uno quisiere mandar hacer una porcion de caños del diámetro y largo que quisiere, se los harán en Madrid ó en Alcalá de Henares, se entiende habiéndolos menester en esta tierra, que si fuere en otra parte se acude á lo mas cerca donde hay buen barro para ello (que no todo es bueno), y observando el artífice que si el viage del agua va rápido, es necesario prevenir la cañería mas gruesa, si ha de ser de barro, que la ordinaria, y que los codillos que hubiese de llevar en el discurso del viage, subidas y bajadas, si las hubiere en las arcas, han de ser de piedra dura para que tengan mas fuerzas y resistan el ímpetu de su furor; y si viniere el viage tan á nivel, que llamamos dormido, con cualquier cañería basta, y si en la rigurosa cañería fuese menester cañería de plomo, es necesario mandar hacer las planchas para hacer los caños

(*) No es azufre lo que tiene el fierro fundido, sinó una corta porcion de carbono que contribuye para la purificacion de las aguas.

mas gordos de siete á ocho arrobas, y de esta suerte resistirán muy bien; y á estas cañerías de plomo de la suerte que fueren, se les echarán sus manguetas del mismo plomo, que sirven de machiembrado, y al trozo de caño que hay entre mangueta y mangueta, se le echarán dos ó tres abrazaderas de la misma plancha para mas fortaleza y seguridad así del caño como de la soldadura. Despues se le pondrá su torta de betun con su angeo, rodeado todo el caño con buena tomiza de esparto ó cordel de cáñamo, que dura y aprieta mas con la humedad. Prevenidas las cañerías así la de barro como la de plomo, encargo mucho al operante no ande escaso en el betun en los machiembrados de las de barro y en el vestir las de plomo con el angeo. Ahora es preciso recibir estas cañerías de fábrica sea en la mina ó en zanja abierta. Se tendrá prevenida la mezcla de cal y arena, á dos espuertas de arena una de cal, y el ladrillo que sea de pinta y colorado, y se irá echando su tendel sobre la superficie del terreno y echando ó sentando su ladrillo atravesado, si es cañería narangera (que si es mayor mas ladrillo ha menester), despues se van sentando los caños sobre el ladrillo, y si lleva tendel encima del ladrillo, será mucho mejor. Despues se le echa cal, y se le vá metiendo por los sobacos de los caños y se le van acompañando con medios ladrillos ó con cascote, y ya que está enrasado el caño se le pone su cubierta de ladrillo. Esto se hace así cuando es cañería sencilla, pero cuando es cañería mayor, se dobla la planta llevando dos ladrillos uno encima de otro, con su tendel en medio, y lo mismo encima en la cubierta. Despues se le va echando tierra encima, y con los pies se va apretando, porque no es cosa de pison, y enrasándose en piedra encima, como es estilo siendo zanja abierta.

»Me parece que será muy del caso poner un instrumento fácil y menesteroso para que los operantes, cuando ejecutan una cañería dilatada, vaya guiada con la cuenta y razon que se necesita; porque las mas se ejecutan, como dicen, á ojo, y por esta razon se han esperimentado notables yerros, pero muy difíciles de enmienda, como sucedió pocos años ha hacer una cañería en un viage, y cuando llegó al surtidero del arca principal se hallaron con él seis pies mas baja la cañería de lo que habia menester y no pudo servir la obra y precisó volverla á ejecutar, por el yerro tan considerable, por encima de ella, abriendo otras minas en el altura que necesitaba, y este daño resulta de no hacer las cosas por medio de la razon; y prevengo que cualquiera se hallará bien con el instrumentico, pues lo que tiene de breve su hechura tiene de fácil el

entenderle y usarle, y es de esta suerte (Es el que presentamos en la figura 51 lámina 3.ª).

»Se tomará un reglon de veinte pies de largo, muy bien labrado y sacado á groso y á los dos estremos de él se pondrán dos zoquetitos de madera bien labrados, y en cada uno un plomito teniendo el zoquete una línea perpendicular. Tirada, luego se tirará otra que abra hácia la parte del corte una quinta parte de un dedo, y como se va sentando la cañería con el plomo, que cae sobre este declivio resultará luego en cada cien pies un dedo de desnivel, y si quisiere que tenga mas lo que le pareciere de desnivel; se hará en la misma proporcion de la que está hecha de suerte que si teniendo una quinta parte de un dedo tiene en cien pies un dedo, dándole otro tanto de declivio, tendrá doblada porcion, y de esta suerte y con esta forma hará su cañería sin garrotes, altos, ni bajos, como ordinariamente sucede y este instrumento va demostrado en lo último con la letra *M* (que es nuestra fig. 51).

»Y volviendo á discurrir sobre los viajes de las aguas y los modos y accidentes de ellos, digo que se puede ofrecer hallar un manantial que entre él y el surtidero haya un cerro que subir y bajar. Se verá lo que está mas alto del manantial, ó el surtidero, si el cerro es de tierra ó piedra, y si es de piedra nordear, y si es de tierra se podrá hacer una mina para su conduccion, usando del instrumento referido del reglon y se podrá ejecutar la mina sin el menor error, y segun la declinacion que se le ha de dar, se podrá templar la línea de los plomos.

»Tambien se podrá ofrecer conducir un golpe de agua bastantemente crecido que baja de una eminencia muy grande y muy alta á lo bajo de un valle: en este caso es preciso observar qué derrumbaderos tiene en su bajada ó qué golpeaderos, y entre los que hubiese se elegirá el que pareciere tiene desde él á donde ha de surtir bastante altura segun las invenciones de agua que ha de haber en el surtidero, y en aquel descanso ó golpeadero se hará una presa de vigas y piedra ó de piedra un paredon ejecutado con mezcla de cal y arena, de suerte que se estanque allí el agua y sirva como de un depósito, dejando el paredon con tal arte hecho que si viniere una abundancia de agua por un accidente, se escape sin ningun detrimento, ora sea por un ladron ó por otro surtidero, que se le dará de modo, que cuando crezca se vaya, y cerca del descanso del agua se hará una arca principal, la cual

se planteará y ejecutará conforme le pareciere al artífice, así en su forma como en su materia, de donde empezará á recoger y encaminar el viage; y cuidado que en estas cosas es menester andar siempre muy advertidos por los muchos accidentes que suelen sobrevenir. Despues se tomará el nivel ya referido, y se verá qué altura y qué distancia hay desde el arca hasta el parage á donde ha de surtir, sabida el altura que hay y qué distancia con la certidumbre del uso del nivel de tranco; y aunque lo natural es llevarla por líneas que en cada arco forme su ángulo (suponiendo que las arcas han de ser cambijas) porque de esta suerte se le templa la fuerza ó el impulso del agua y son mas permanentes las cañerías, de suerte que á cada cien pasos se hará su cambija, para mayor descanso del agua y despues de elegidas las cambijas, se elegirán y ejecutarán las cañerías: estas sean de plomo ó de bronce ó de hierro han de ser todas vaciadas que no lleven soldaduras, porque es por donde suelen fallecer, y tambien pueden ser de piedra, que son mas ahorrativas y de cualquier género que sean darles el diámetro que hubiesen menester segun el golpe de agua y el grueso que bastare á resistir su empujo observando siempre que los codillos han de tener mas grueso que los caños, porque siempre hace en ellos mas batalla el agua.

»Tambien suele suceder ser todo el terreno muy irregular, así en barrancos como en cerros, y es necesario en los barrancos hacer paredones ó arcos para el paso del agua con tal arte que aunque por los barrancos vayan avenidas de agua, se les deje libre el paso, y aunque sean paredones se les hace en medio un arquillo para que tambien pase el agua poca ó mucha la que viniese. Estos paredones se hacen de mampostería, ó de albañilería de cal ó arena, ó de piedra labrada conforme socorre la tierra de material, y encargo mucho que para cosas semejantes no se use del yeso ni de la piedra de que se hace, porque es muy perjudicial. En las partes que hubiese morteruelo, si se pueden minar se minarán; si son de piedra se nordearán metiendo unos canecillos en la peña de álamo negro, roble, ó encina que entren dentro de la peña otro tanto como les ha de quedar fuera y que estos estén á una distancia competente uno de otro y encima poner unas vigas de la madera referida vaciadas de suerte que quepan los caños dentro, y cubiertas con tablones gruesos y las cañerías envueltas con betun de olio, como adelante se dirá; que de esta suerte pasará el agua muy bien, y se advierte que las juntas de las vigas han de caer de medio á medio del grueso de los nudillos, para que allí se claven una y otra,

y los nudillos se han de recibir con buen yeso, y lo que entra dentro de la peña ha de ir bien claveteado, para que agarre bien el yeso, y el tablon con que se tapare se ha de tejar por encima, mandando hacer teja á la medida, ó se emplomará ó empizarrará dándole al tablon en la labra de él un poco de corriente y con eso queda todo muy bien y la entrada del agua en este trozo de cañería, que va en las vigas, y la salida ha de ser de plomo, sea de la materia que fueren los caños, porque ningun metal para esto se maneja mejor.

»Tambien he visto practicar, que queriendo un amigo llevar agua muy somera en un parage de su diversion, trató con un Fontanero, que le habia de conducir aquel agua á otro parage y despues de haberse convenido en que se empezase la obra principiaron su viage, abrieron sus zanjas en terreno pedregoso, y la tierra que habia entre las piedras de mala calidad, de suerte que la misma zanja servia de tajea porque el agua iba suelta hasta el surtidero, de suerte que por los caños de la fuente solían correr sapos y otras sabandijas y viendo este inconveniente tan grande, se dió el remedio que se encañase con caños de á nueve en seco acompañados de piedra seca asi por sus lados como por encima, de suerte que se libró que en la fuente no corriesen semejantes animales y despues sucedió que á pocos años se secó la fuente, y discurriendo en qué consistiría, entre muchos discursos se halló por cierto, que el agua que se hallaba por aquellos planos era de unos vejigones de la tierra, que se habian llenado de agua, así de lo que llovía como de la que procedia de unas habas que habia al rededor de aquel terreno á poca distancia, que éstas cuando la tenian la participaban por las venas y cavernas de la tierra en donde se hallaban. El pobre dueño se dejó llevar de la persuasion del Fontanero, que le pudo desengañar al principio, pero esto me parece fué defecto de entrambos; el uno que no lo entendia, y el otro que tubo facilidad en creerlo, y partió sin haberse informado de hombre, que le pudo desengañar, y este defecto le tienen muchos dueños de obras, que no quieren tomar pareceres de hombres peritos, porque les parece que los han de estafar, y así lo pagan luego y desengáñese cualquiera dueño de obra, que si no busca la mejor para el primer consejo, irá perdido su caudal."

318 Pasemos ya á la obra mas recientemente publicada, y que tiene mas directa é inmediata conexion con el objeto que nos proponemos en esta, y es el *Ensayo sobre los medios de conducir*,

elevar y distribuir las aguas por Mr, Genieys impreso en París, año de 1829.

Este apreciable Autor principia su ensayo por una introduccion muy juiciosa, y despues de presentar bajo cierto aspecto la historia del arte del Fontanero por los monumentos, dice:

"Ella puede bastar para hacer conocer toda su utilidad, pero puede ser no caracteriza bastante sus progresos; es necesario considerar la parte científica para apreciarla en su justo valor y evitar que falsas idéas de esplendor y magnificencia, no lleguen á ofuscar nuestro juicio induciéndonos á creer que ha sacado pocas ventajas de los nuevos descubrimientos.

»Hay en todas las artes un punto de perfeccion que proponerse y que no se puede alcanzar, sinó por una aplicacion mas ó ménos perfecta de los resultados de la teoría. Pero el arte del fontanero se funda en principios de Mecánica y Física que eran, por decirlo así, desconocidos á los antiguos. No se debe estrañar si les llevamos ventaja......

»*Picard*, *Lahire*, *Vauban*, *Riquet*, hicieron felices aplicaciones al trazado de los grandes trabajos hidraúlicos.

»*Colbert* contribuyó sobre todo al progreso de las Ciencias estendiendo las providencias que Luis XIV espidió, protegiendo á los hombres que no se desdeñaban de hacer los planos, las nivelaciones, y entregarse á ocupaciones penosas para asegurar el éxito de las operaciones que les confiaban: fundó la Academia de las Ciencias (año de 1666).

»Los esfuerzos de los Sabios que en este cuerpo se ocupaban en la Hidráulica no sirvieron aun por espacio de mucho tiempo, sinó para hacer conocer mejor los fenómenos del movimiento de los fluidos que se trataba de esplicar, las cuestiones que era necesario resolver, y sobre todo las dificultades que presentaban."

319 Pása luego á espresar lo que se debe á los Sabios *Coulomb*, *Girard*, *Prony* y *Balaguer* sobre poco mas ó ménos, como lo hemos hecho en el resúmen histórico (libr. 2); y despues presenta un vocabulario donde esplica la significacion de las principales voces que se emplean en las obras hidráulicas y principia su obra de este modo:

"El agua es un objeto de primera necesidad para las urgencias domésticas. La industria la reclama como un agente indispensable para asegurar el buen éxito de sus operaciones. Los monumentos que sirven para suministrarla, forman el mas bello adorno de las ciudades.

»Pero no todas las aguas poseen unas mismas cualidades; se

las encuentra raras veces reunidas sobre los lugares en que se deben emplear ó bien ocupan los puntos mas bajos; de manera, que es necesario casi siempre ir á buscarlas á lo léjos ó levantarlas sobre su nivel natural.....

»El agua, en el estado líquido, se puede considerar como compuesta de moléculas poco adherentes entre sí, y susceptibles de obedecer fácilmente á la accion de la pesantez. Ellas no permanecen en equilibrio ó en reposo sinó cuando están contenidas en un vaso, cuyas paredes son capaces de resistir á la presion que se ejerce perpendicularmente á su superficie......

»Si el agua no está detenida en todos sentidos, corre por la parte donde falta la resistencia. Esto es lo que se verifica cuando se halla simplemente encerrada en un lecho de canal ó de rio, ó en un tubo de conduccion. En esta circunstancia, para analizar bien el fenómeno del movimiento, es necesario distinguir: el volúmen ó la cantidad de agua que corre en un tiempo determinado; el perfil ó seccion perpendicular al lecho, por un plano perpendicular al eje de un filete fluido; la profundidad del agua; su velocidad y la inclinacion de la superficie.

»En los casos mas ordinarios del movimiento, existe una relacion matemática entre estas cinco cantidades, es decir, que siendo conocidas cuatro de ellas, se puede siempre determinar la quinta, como lo esplicarémos mas léjos *.

»Verémos tambien que en las aplicaciones mas ordinarias de la fórmula del movimiento, no se pueden siempre dar de antemano cuatro de estas cantidades. Sucede frecuentemente que no se conocen sinó los límites entre los cuales se les debe hacer variar, y que no es sinó por tantéos y ensayos como se llega á satisfacer á las diferentes condiciones de la cuestion.

»Pero de todos estos elementos, el mas importante que se debe considerar en la teoría de las aguas corrientes, es la velocidad.

»En efecto, las hipótesis sobre las cuales esta teoría se funda, dependen ó están fundadas en consideraciones sobre la velocidad de las moléculas de los filetes fluidos.

»La accion de las fuerzas aceleratrices que producen el movimiento y la de las fuerzas retardatrices que le modifican, se espresan en funcion de la velocidad.

»Los efectos que resultan de ella, como el gasto de agua, la

---

* Esto es lo que nosotros hemos hecho ya en los dos capítulos anteriores.

corrosion contra las paredes del lecho, el impulso que la corriente es capaz de dar á un cuerpo flotante, se miden por la velocidad.

»Las filtraciones, las evaporaciones, siendo mas ó ménos considerables, segun que el agua empléa mas ó ménos tiempo en correr un espacio dado, estas causas de diminucion se unen esencialmente á la velocidad......

»Mientras menor es la velocidad, mas tiempo gasta el agua en correr un espacio dado, y mas pérdidas hay producidas por las filtraciones y las evaporaciones. Al contrario, cuando la velocidad es considerable, el agua choca todos los obstáculos que encuentra con una mayor cantidad de movimiento; tambien desgasta entónces mas fácilmente las orillas, y produce en el fondo del lecho desigualdades mas ó ménos considerables segun la naturaleza, mas ó ménos resistente del suelo. En este caso, se ve uno precisado con frecuencia á reparar el canal, á detener las aguas y por consiguiente á suspender su efecto útil.

»Se ve que entre las velocidades estremas, hay un término medio, el mas ventajoso posible que depende mucho de la naturaleza de los terrenos que debe atravesar el canal, y de la masa de las aguas que le alimentan.

»Si el canal debe llevar aguas saludables, es necesario ademas que la velocidad sea bastante grande para que no adquieran cualidades mal sanas por su estancacion en los depósitos y la lentitud de su renovacion.

»Las aguas pluviales, y todas las que son corrientes contienen una cierta cantidad de oxígeno que se renueva por el contacto del aire, pero si estas aguas vienen á ser encerradas, si permanecen en depósitos donde no se remuevan sinó lentamente, sucede, que, al cabo de un cierto tiempo, la cantidad de oxígeno disminuye. Las materias animales y vegetales que las aguas tienen en disolucion se descomponen; entónces, ellas son desabridas y perjudiciales á la salud. En el estío es cuando las aguas corren con dificultad sobre un lecho fangoso y tapizado de yerbas cenagosas, y es cuando esta causa produce su mayor efecto. Se ha encontrado que una velocidad de 35 centímetros por segundo (1,156 pies españoles) era indispensable para que las aguas conserven la salubridad.

»Siempre que existe esta velocidad, la fermentacion no se puede establecer, y las aguas no tienen necesidad de ser purificadas por el carbon, que goza de la propiedad particular de absolver los gases perniciosos.

»Cuando el volúmen y la velocidad son determinadas, asi como la figura transversal del lecho, se concluye la inclinacion por la fórmula del movimiento uniforme.

......»la velocidad de 35 centímetros debe ser la velocidad media por segundo, ó de 43 centímetros (1,543 pies españoles) cerca de la superficie.

»El talud del canal de Ourcq es de uno y medio de base por uno de altura.

»La inclinacion ó declive es algunas veces determinada por las localidades, cuando se trata por ejemplo de conducir las aguas de *una fuente* sobre el punto culminante de una ciudad, algunas veces se le puede aumentar ó disminuir en ciertos límites, cuando se trata de derivar simplemente las aguas de un rio y que el sitio de la toma de aguas no está fijo de antemano.......

»No nos estenderémos mas sobre lo que concierne á la construccion de los canales. Solo en las obras donde se trata especialmente de este objeto, es donde se puede entrar en todos los detalles que semejantes proyectos exigen (cita por nota las obras de *Mr. Girard* sobre el canal del Ourcq, y las memorias sobre los canales de navegacion por Mr. Gauthey).

»La nivelacion y el trazado de un canal estando determinadas, se abre principiando por el parage en que debe terminar, y remontando sucesivamente hasta el punto de partida ó de la toma de aguas *.

»Segun las cualidades del terreno que el canal atraviesa, se emplean los diferentes medios que el arte sugiere y que hemos indicado arriba para oponerse á las filtraciones.

»Se encuentran algunas veces arroyos, fuentes de que puede convenir no recibir las aguas en el canal. Entónces se establecen acueductos, segun que el local lo exige, para evitar el concurso.

»En fin puede uno verse en precision de atravesar una quebrada, barranco, rambla profunda, un rio considerable, se construye en este caso, el canal de mampostería y se le sostiene por un puente de uno ó muchos órdenes de arcadas, segun la altura á que es necesario elevarle para conservar su declive."

320 Acerca del establecimiento de los acueductos, de que se ocupa desde la pág. 24, dice:

"Los acueductos de mampostería deben ser preferidos siempre que el volúmen del agua, de que se puede disponer, es poco considerable.

* Esto es susceptible de muchas escepciones, como ya hemos manifestado (§ 308).

» Aunque su declive deba ser reglado de manera que proporcione al agua una velocidad determinada, el trazado difiere esencialmente del de un canal. El agua estando encerrada en una cuneta de mampostería, se puede mas fácilmente sumergir en la tierra, atravesar una montaña, cortar las rocas, elevarse sobre el suelo en los valles profundos, sosteniéndole sobre un muro ó sobre un puente formado de uno ó muchos órdenes de arcadas.

» Así los acueductos son subterráneos ó descubiertos.

» Los primeros se componen de un zampeado......

» Los segundos constan igualmente de una cuneta de mampostería, pero ella está sostenida para conservar la inclinacion, sobre un mazizo tambien de mampostería ó albañilería cuando la elevacion sobre el suelo no es sinó 2 á 3 metros (de unos 7 á 11 pies españoles) y sobre uno ó muchos órdenes de arcadas.....

» No darémos las dimensiones de las diferentes partes de las obras, que entran en la composicion de un acueducto, porque dependen de la naturaleza del terreno sobre el cual se debe establecer, de las resistencias que tienen que oponer segun están mas ó ménos sumergidas en tierra ó elevadas sobre el suelo.

» Dirémos solamente que en los acueductos subterráneos, cuando el fondo es bueno y no hay un metro de espesor de tierra sobre la bóveda, se da al zampeado 0,32 de espesor (1,15 pies españoles) no comprendida la capa &c....

» La parte del paramento interior, que debe ser mojada, se recubre de una primera capa de cimento de 5 centímetros de espesor (unas dos pulgadas españolas) compuesto de cal, de arena fina y de ladrillo casi pulverizados.

» La magnitud de la obra depende evidentemente del volúmen de agua que debe llevar y de la inclinacion; pero no se da jamás ménos de un metro (3 pies y medio españoles) de ancho por 2 (7 pies españoles) de altura, para permitir reconocerlos en toda su longitud.

» Cuando el valle, que es necesario atravesar, tiene una gran profundidad y el número de órdenes de arcadas necesarias para conservar la inclinacion, viene á ser muy considerable, se pueden reemplazar estas construcciones por tubos de fundicion de fierro ó de plomo, con tal que ofrezcan una resistencia proporcionada á la presion del agua. Se lés hace rodear el contorno del valle sosteniéndolos sobre los lados por arcos rastreros, y en el medio por un puente ordinario que se denomina entónces *puente de Sifon.* Se colocan depósitos sobre las dos alturas en los estremos: el agua desciende del

uno para subir en el otro á un nivel que depende de la pérdida de carga debida á los rozamientos y á la aceleracion de la velocidad del agua en el conducto, segun que la abertura de los tubos difiere mas ó ménos de la seccion viva de la corriente en el acueducto.

»Existe en Génova un puente de sifon llamado *della Arcate*, que atraviesa el valle del Torrente *Geivato* llevando las aguas de la colina de Molassana á la del Pino.

»La embocadura del sifon está mas elevada que la salida 7,43 metros (cerca de 27 pies españoles), y la distancia horizontal de estos dos puntos es 668,65 (unos 2400 pies españoles).

»La parte inferior del sifon se halla debajo de su embocadura $50,^{m}02$ (cerca de 180 pies españoles) y de su salida $42,^{m}49$ (unos 152 pies españoles).

»El conducto sigue la curvatura del puente sobre el cual está echado, y se compone de tubos de fundicion de fierro, cuya longitud varía desde $0,^{m}87$ (unos 3 pies españoles) hasta $0,^{m}75$ (unos $2\frac{1}{2}$ pies españoles) comprendidos $0,^{m}065$ (cerca de 3 pulgadas españolas) de enchufe. El diámetro es de $0,^{m}37$ (16 pulgadas españolas) y el grueso de la pared $0,^{m}02$ (cerca de $10\frac{1}{2}$ líneas españolas).

»Se ha tenido cuidado de colocar en la parte inferior dos tubos con grifones ó llaves destinados á descargar las aguas en el caso de que se debiese poner el sifon en seco; y en la parte superior cerca de la embocadura, dos tubos de la misma forma para facilitar la introduccion del agua, dando salida al aire.

»El agua, ántes de introducirse en el sifon, está derramada por el acueducto que precede en un depósito, que tiene en su medio una reja de fierro destinada á retener los ramos, hojas y otras materias que podrían obstruir el sifon.

»Este depósito tiene otro colocado á un metro (unos 3 pies y medio) sobre el centro de la embocadura del sifon: de modo que cuando el agua es mas abundante, la carga total en virtud de la cual se verifica el movimiento, puede ser de $8,^{m}43$ (unos 30 pies españoles).

»En este caso, el gasto de agua es de 696,16 metros cúbicos por hora (32181 pies cúbicos españoles).

»El acueducto de Génova tiene 28,260 metros * de longitud (101423 pies españoles).

* En prueba de lo fundada que es nuestra opinion espuesta en la nota del (§ 5) del libro primero, debemos decir que si esto lo leyéramos aisladamente, sin relacion al contexto, podríamos interpretar

»No se le había dado al principio en 1293, sinó 7,786 metros (27943 pies españoles) de desarrollo; pero se le ha aumentado sucesivamente despues, para recoger nuevos manantiales. La construccion del puente de sifon se verificó en 1782.

»Si la longitud del valle es muy grande, se pueden formar muchos conductos en sifon levantando mazizos de mampostería ó pilastras para sostener otras tantas cunetas colocadas á diferentes alturas, teniendo en consideración la pérdida de carga necesaria para vencer los rozamientos en los tubos. El agua desciende del depósito que termina á la primera parte del acueducto sobre el reves del ribazo ó ladera y remonta por un conducto vertical en la primera cubeta: ella vuelve á bajar despues y remonta en la segunda, y así sucesivamente hasta llegar al depósito colocado sobre el reves opuesto de la ladera, que forma el orígen de la segunda parte del acueducto. Se colocan aberturas en el vértice de las pilas á fin de dar salida al aire, que sin esto podría estorbar el movimiento del agua en los tubos de conduccion.

»Se puede emplear un medio semejante para atravesar un torrente ó un rio sobre los que la construccion de un puente sería difícil ó demasiado dispendiosa. El conducto se compone entónces de tubos de plomo ó de fundicion de fierro unidos por articulaciones que les permiten tomar un movimiento en el sentido vertical y aplicarse enteramente sobre el fondo del lecho.

»Se ha encontrado en el fondo del Ródano un conducto de plomo, puesto desde el tiempo de los Romanos, que atravesaba este rio desde la villa de Arlés hácia *Trinquetaille* sobre un ancho de 90 toesas (630 pies españoles) y á una profundidad de 6 á 7 toesas (42 á 49 pies españoles). Este conducto estaba compuesto de tubos de plomo de 5 á 6 pulgadas de diámetro y de 4 líneas cerca de espesor, soldados todos á lo largo por medio de una lámina de plomo de igual grueso y reunidos por tubos adicionales de igual materia, de toesa en toesa.

»Acabamos de ver como se podría hacer atravesar un valle por un conducto de agua sin construir un acueducto; pero no es ménos importante algunas veces, hacerle salvar una colina sin estar uno obligado á contornearla ó taladrarla. Hay un caso en que se puede producir el paso del agua con un sifon, es cuando la colina no tiene

que aquí decia 28 *metros* y 260 *milésimas de metro*, en vez de *veinte y ocho mil doscientos sesenta metros*, que es lo que parece quiere decir el Autor. La misma duda ofrece la espresion 7,786 que pone mas abajo.

32 pies (37 pies españoles) sobre el nivel del agua en el valle donde se encuentra la fuente alimenticia ó el depósito. Concibamos un tubo que sumergiéndose en el agua del valle, se eleva arrastrando hasta el vértice de la colina y vuelve á bajar sobre la ladera opuesta. Para cebar este sifon, se cierran sus dos estremos, y en lugar de hacer el vacío, se le llena de agua por una abertura practicada en la parte superior. Se cierra esta abertura; se destapan despues los dos estremos, y el paso se establece hasta que el agua del valle se haya agotado, ó que el brazo mas corto del sifon no se sumerja ya en el agua, ó en fin que el nivel no se haya bajado mas de 10 metros (unos 36 á 37 pies españoles segun la presion atmosférica) por la parte inferior debajo del vértice de la colina.

»Cuando se empléa el sifon de un diámetro un poco grande, se debe tener en consideracion que el aire puede introducirse en una de las columnas, desfilar á lo largo de las paredes, y llegar á la parte superior donde causa una solucion de continuidad y por consiguiente hace cesar el tránsito del agua. Para evitar este inconveniente, es necesario tener el estremo del brazo, por el cual pasa el líquido, sumergido en el depósito de distribucion por debajo del nivel del agua, y colocar en el vértice una ventosa ó depósito de aire que describirémos mas adelante.

»Los acueductos descubiertos tienen algunas veces un ancho bastante considerable para permitir á los coches correr su longitud sobre una calzada pública.......Tal es el acueducto construido en el llano de *Buc* para conducir aguas á Versalles. En semejantes casos, el acueducto ofrece la ventaja, no solo de hacer que el agua salve los valles que separan las montañas, sinó aun facilitar las comunicaciones de uno á otro. Cuando sucede que un acueducto subterráneo debe pasar por debajo de un camino público, es necesario proteger el conducto por una obra fuerte de mampostería. La misma precaucion se debe tener cuando el agua corre en tubos de conduccion ó encañados que pasan por debajo de los grandes caminos.

»Se evitan por esto las huidas ó evasiones de agua que se deberían al estremecimiento producido por los carruajes, y se pueden hacer las reparaciones sin impedir el paso.

»La velocidad del agua en un acueducto debe ser reglada por los mismos principios que cuando ella corre por un canal, solamente que como no puede corroer las paredes en este caso, sin degradarlas por el rozamiento, se sigue que se puede hacer variar la velocidad en límites mas estensos.

»Cuando no se ve uno precisado por ninguna condicion particular, es conveniente dejar mas inclinacion para que el agua camine mas rápidamente. Pero es esencial algunas veces no perder inútilmente una parte de la altura, cuando se trata sobre todo de conducir las aguas á una poblacion, á fin de que puedan ser distribuidas en los cuarteles mas elevados, ó recogidas en depósitos superiores, ya sea para sacar de ellos cascadas, ya para detener los progresos de los incendios, ya para conservarles mayor fuerza motriz.

»Los Romanos habían dado á la mayor parte de sus acueductos una inclinacion tal que la velocidad de sus aguas debía ser de muchos metros por segundo. Pero en aquella época la Hidráulica no estaba suficientemente adelantada, para que principios seguros sirviesen á la determinacion de la velocidad.

»El acueducto de *Nimes* tiene 4 centímetros de inclinacion por 100 metros (esto equivale á ser lo que nosotros hemos llamado $I=\frac{1}{2500}$).

»El del *Monte de Pila* en *Lyon* tiene 0,1666 de metro de inclinacion, por 100 metros (esto equivale á ser $I=\frac{1}{600}$).

»El de *Metz* tiene 0,100343 por 100 metros. Resulta una velocidad de 0,85 metros por segundo. (Esto equivale á ser $I=\frac{1}{996}$).

»El de *Trapes* tiene 3 pies de inclinacion por 4000 toesas; da una velocidad de 0,54 metros por segundo. (Esto equivale á ser $I=\frac{1}{8000}$).

»El de *Roquencourt* que conduce el agua á Versalles tiene $\frac{1}{3400}$.

»El de *Casserte* construido por el Rey de Nápoles Carlos III, tiene 208,33 milímetros por quilómetro. (Esto equivale á ser $I=\frac{1}{4800}$).

»El de *Montpellier* tiene 289 milímetros por 1000 metros. (Esto equivale á ser $I=\frac{1}{34600}$).

»El acueducto del recinto de París tiene de inclinacion $\frac{1}{8675}$."

321. Acerca del establecimiento de los conductos de agua, dice desde la pág. 38:

"Cuando se quiere conducir el agua de un lugar á otro ménos elevado, por medio de una reguera ó tajéa que esté á cielo descubierto ó de un acueducto de mampostería, no se consigue sinó con grandes gastos una inclinacion uniforme. Si el volúmen de las aguas es considerable, como en el caso de que se trate de abastecer á una gran ciudad, no se puede sin embargo elegir sinó uno de estos dos medios; pero cuando la seccion del agua viva debe ser pequeña, se prefiere emplear tubos que siguen una línea interrumpida desde la toma de agua hasta el depósito de llegada. Estos tubos pueden ser

de madera, piedra, mampostería, plomo, fundicion de fierro, &c.; con tal que ofrezcan bastante resistencia contra la presion del agua, que es tanto mas considerable, cuanto el tubo se coloca mas bajo relativamente á la toma de agua.

»Este modo de conduccion presenta grandes ventajas, porque el conducto sigue las inclinaciones naturales del suelo, desciende en los lugares profundos, remonta sobre los flancos de las cuestas, se presta en una palabra á todos los accidentes del terreno, pero ellos tienen inconvenientes, de que conviene formarse una justa idéa.

»Vamos á examinarlos sucesivamente, no considerando la cuestion sinó de un modo general, y reservarémos volver á detenernos mas sobre los detalles relativos al establecimiento de los conductos en la seccion destinada esclusivamente á la distribucion de las aguas.

»Cuando se trata del paso del agua por un tubo, la *uniformidad del movimiento* se realiza por medio de ciertas condiciones que son: que el tubo ofrezca una seccion trasversal constante; que por todas partes esté lleno de agua; que sea derecho ó no tenga sinó inflexiones poco sensibles; que el depósito de donde parte sea constantemente alimentado, de modo que permanezca sobre el orificio de entrada una carga de agua invariable y suficiente; que la presion sobre el orificio de salida sea tambien constante; que en fin, la longitud del tubo esceda un cierto límite mas allá del cual el fenómeno de la contraccion se oponga á la resistencia del movimiento por filetes paralelos. Pero estas condiciones se verifican frecuentemente en los conductos de agua, y se puede uno servir con confianza, en la práctica, de la fórmula que se aplica al movimiento uniforme."

Las fórmulas de que usa son las mismas que las de *Mr. Prony*, que son las nuestras, pero con la circunstancia de que *Mr. Genieys* no atiende á la variacion de la gravedad, y por lo mismo sus fórmulas, así como las de *Mr. Prony*, solo pueden servir con exáctitud cuando mas para las inmediaciones de París, siendo así que las nuestras convienen á todas las localidades del Globo.

322 Acerca de la resistencia que proviene de los recodos, se espresa en los términos siguientes:

"La mudanza ocasionada por un recodo en la direccion de las moléculas de una masa fluida en movimiento, coopera á disminuir la velocidad; es decir, que el recodo de un conducto produce una resistencia, y que hay una parte de la fuerza motriz empleada en destruirla, para que el gasto sea el mismo.

»*Dubuat*, queriendo obtener una espresion general de esta resis-

tencia, emprendió una série de esperimentos para determinar el aumento de carga necesaria para imprimir una misma velocidad al agua en un tubo acodado, que cuando estaba recto y tenía la misma longitud. Ensayó despues unirlas por una fórmula, que juzgó tanto mas cierta, cuanto encontró los resultados bastante aproximados de aquellos á los cuales las observaciones le condujeron.

»Segun él la espresion de la resistencia particular á un recodo es $\frac{V^2S^2}{m}$, en la cual V representa la velocidad del agua, S el seno del ángulo de reflexion, y m un número constante que *Dubuat* ha encontrado igual á 2998,50 cuando se toma la pulgada por unidad lineal; cuando es el metro, la espresion es $\frac{V^2S^2}{81}=0{,}0123V^2S^2$ (Esta reducida á medidas españolas, será $0{,}0441435V^2\times\text{sen.}^2$)."

323 Acerca de la resistencia debida á la introduccion del aire, se espresa en estos términos.

"Las resistencias, de que acabamos de hablar, no son las únicas que presentan obstáculos al curso del agua. El aire, que ocupa un conducto en el instante en que se le pone la carga, aumentada del que el agua lleva, se aloja en las partes mas altas, y cuando se ha reunido en cantidad suficiente disminuye la seccion de agua y puede aun impedir de todo punto el paso; porque esta porcion de aire alojado en el recodo de él llena enteramente, resiste á la introduccion del agua en el conducto, adquiere densidad y acaba por tapar el paso despues de haber disminuido poco á poco su producto.

324 »Acerca de los *medios que se deben emplear para disminuir el efecto de las resistencias*, dice así:

»Nada puede impedir los rozamientos del líquido contra las paredes del conducto; pero se pueden disminuir los otros inconvenientes. Cuando el conducto muda de direccion, se da á la curvatura el mayor desarrollo posible para evitar las vueltas bruscas y repentinas, y disminuir la pérdida de carga. Si el pliegue del terreno es en el sentido vertical y de poca estension, se prefiere nivelarle por un corto acueducto; el gasto es menor y las reparaciones ménos frecuentes. Cuando el conducto debe pasar por debajo de un camino, atravesar un rio, penetrar en una montaña, no se puede ménos de encerrarlo en un acueducto de mampostería para reconocerlo mas

fácilmente, y asegurarse de las partes que exigen reparaciones.

»Se tienen varios medios para evitar el efecto del aire. El primero se reduce á colocar en los puntos culminantes una llave ó grifon, la que se hace girar para que salga el aire, siempre que se advierte que el agua deja de llegar, y cuando se unen las aguas de los dos brazos del conducto, se cierra el grifon, y el paso se establece.

»El segundo consiste en dejar un recodo abierto ó en colocar una cubeta que comunique con la atmósfera. No se puede en este caso hacer llegar el agua á un nivel mas elevado que el de esta cubeta, y toda la inclinacion comprendida desde este nivel á la toma del agua es perdida, tanto para la velocidad del paso ulterior, como para el grado de altura que es permitido darle á su salida.

»El tercero, que es el mas empleado, se reduce á colocar en este recodo un tubo introducido sobre el conducto y sostenido por un pilar sea de madera, sea de mampostería, cuya altura es igual á la de la carga motriz disminuida en la pérdida debida á los rozamientos desde el orígen del conducto. El agua sube en este tubo, obtiene en él esta altura y permanece suspendida. Nada impide aun el construir allí un depósito, que podrá servir de cambija para derivar otros conductos y llevar el líquido á *diversos lugares*.

»Estos depósitos ó cambijas, colocadas de distancia en distancia, tienen la ventaja de indicar las partes del conducto donde se hacen las pérdidas y que piden reparaciones, porque en cada uno de estos aparatos, es fácil medir la cantidad de agua vertida, y reconocer la parte de la cañería donde el producto se disminuye.

»En fin, se puede aun poner por ventosa un tubo vertical muy corto, cerrado con una válvula pesada. Cuando la condensacion del aire viene á ser bastante para forzar la válvula, él se abre por sí mismo una salida y jamas se detiene el paso.

»Se crian frecuentemente en los conductos raices que toman bastante acrecentamiento para tapar los tubos. Los fontaneros llaman estas producciones *colas de zorra:* Nacen de semillas que el agua trasporta, ó se engendran por raices que se han abierto paso en las uniones del conducto, y pueden ser aun debidas á otras causas; el hecho es, que esta multitud de fibras entrelazadas suelen llenar la capacidad entera de los tubos y taparla enteramente.

»En las partes mas bajas, y en los recodos donde el agua tiene ménos velocidad, se forman depósitos que provienen ya de sales calcáreas que están disueltas en ellas, ya de arenas y limo, que se

encuentran con precision; y á fuerza de reunirse y aumentarse estos depósitos, terminan al fin por tapar el conducto.

».....Se reconoce el lugar donde está el obstáculo atando un corcho á un hilo, y abandonándolo al curso del agua en el conducto; el corcho se detiene en el punto de que se trata; y si para......, se puede unir algun instrumento al estremo de la cuerda que se supone tener bastante resistencia; de modo que retirándola salgan las petrificaciones *.

»En virtud de esto, se deduce que el paso del agua en tubos de conduccion exige que se pueda disponer de una carga motriz mucho mayor que cuando se emplean canales de derivacion ó acueductos; porque el perímetro mojado siendo mayor relativamente á la seccion de la corriente, y el conducto mas largo, hay mas rozamientos; que los recodos mas señalados producen igualmente retrocesos perjudiciales, y resistencias, que la presencia del aire, cualesquiera que sean los medios puestos en uso para desembarazarse de él, presenta siempre un obstáculo al curso del agua; y que los depósitos que se forman disminuyen poco á poco el producto del paso.

»No se pueden remediar estos inconvenientes, sinó haciendo los conductos forzados lo mas cortos posibles, no aplicándolos sinó á distribuciones por menor.

325 »Acerca de la *distribucion de las aguas*, dice:

»Cuando se examinan las obras destinadas á conducir y repartir las aguas á una gran ciudad para el abasto de sus habitantes, ellas admiran tanto mas, cuanto son en general de una aplicacion poco conocida. Considerándolas de mas cerca, se percibe bien pronto que muchas de ellas se reunen y que se las puede agrupar de modo que no formen sinó algunas clases bien distintas. El objeto que uno se propone es hacer circular las aguas. Analicemos los medios de que se hace uso para conseguirlo. Para esto, distinguirémos el punto de partida ó la toma de agua, el conducto y el punto de llegada ó donde ella se derrama. La toma de agua, puede hacerse 1.° en un rio, por medio de una bomba aspirante ó

* Estas petrificaciones vienen á ser carbonato de cal, y forman una especie de incrustaciones de mármol. Son debidas á que el agua, cuando lleva un esceso de ácido carbónico, puede disolver al carbonato de cal que, por sí es insoluble; al pasar el agua por el conducto siempre sufre alguna evaporacion, y el carbonato de cal se precipita con este motivo, y pegándose á las paredes de los encañados, llegan estos á obstruirse.

impelente *. 2.° En un despósito alimentado por máquinas ó por un conducto. 3.° En fin sobre un conducto principal.

»El conducto se compone de muchas partes; se ven en él, *tubos* que pueden diferenciarse por la cantidad de la materia que sirve para formarlos y por el modo de reunion de los grifones, que sirven para interceptar ó restablecer el paso de las aguas; de las *ventosas*, que dan una salida al aire, á fin de que su presencia en el conducto no impida el movimiento del agua y no conspire á disminuir el producto del paso.

»El punto de llegada ó derrame, segun las aguas están destinadas al servicio público ó particular, presenta una gran variedad de efectos. Se puede hacer que las aguas sirvan para hermosear las plazas y paséos obligándolas á esparcirse de diferentes maneras, como despeñarse en cascadas, saltar ó elevarse formando garzotas ó penachos, ó salir con impetuosidad de una masa de rocas &c. Se las puede hacer concurrir á la salubridad, por el lavado de las calles y de los albañales, ó emplearlas en los diversos usos de la vida, distribuyéndolas en las casas ó establecimientos industriales."

326 Lo que dice Mr. Genieys acerca de los recodos, es muy interesante, pues haciendo uso de la fórmula de *Dubuat*, deduce que un *recodo destruye una parte de la carga equivalente á* 0,0086434 *de metro*; y él por sus esperimentos deduce 0,012; nosotros tomarémos un término medio entre estos, y dirémos que *un recodo origina una pérdida en la carga total de* 0,0103217 de metro, que equivalen á 0,03704 de pie español ó á 5,334 líneas españolas. De manera, que si un conducto estando calculado para tubos que estuviesen en línea recta, hubiese de tener ocho recodos, deberíamos añadirle el producto de 5,334 líneas por 8; lo que da 42,672 líneas; lo cual nos quiere decir que la altura del depósito debería tener 42,672 líneas de mas, ó lo que es lo mismo un poco mas de tres pulgadas y media.

327 Pasa despues *Mr. Genieys* á considerar la presion variable que se ejerce en cada punto sobre la pared del conducto; y dice:

"El agua se mueve en virtud de la carga que se ejerce sobre el orificio superior, y del peso de la masa de agua en las partes descendentes del conducto, el todo disminuido de la porcion de la carga absorvida por los rozamientos contra las paredes y por el peso de la masa de agua en las partes ascendentes del conducto ó sobre el orificio inferior.

* Ó por cualquiera otra máquina hidráulica.

»De aquí se sigue que se hace constantemente una especie de division de la *potencia* ó *fuerza motriz*. Una parte se empléa en producir la velocidad del agua en el conducto; otra en vencer los rozamientos con las paredes; y otra en sobrepujar la resistencia que proviene del peso del agua que obra en sentido contrario del movimiento.

»Esta parte de la potencia, es la que determina principalmente una *presion* contra las paredes del conducto. Ella es muy débil en los canales descubiertos, donde toda la fuerza motriz es por decirlo así empleada en imprimir la velocidad ó en vencer los rozamientos contra las orillas; pero en los *conductos forzados*, ella puede ser muy considerable."

"Pasemos ahora á determinar la fórmula que sirve para arreglar el espesor de los tubos. Para encontrarla, examinemos como los acrecentamientos de los diámetros hacen variar el gasto. Designemos por e el espesor de un tubo de conduccion; por r el radio del tubo, por P la presion normal que sufre referida á la unidad de superficie, y por R la mayor tension que se quiere hacer sufrir á las fibras ó materia del tubo, sobre esta unidad superficial.

»No se mudará nada al estado de equilibrio si, en el momento de la rotura, se supone que el tubo está separado en dos por una pared fija dirigida segun su diámetro.

»La presion que el líquido ejerce sobre esta pared está espresada por $2Pr$. La resistencia que se verifica en los puntos de contacto está espresada por $2eR$. Luego se tiene $2eR=2Pr$, ó suprimiendo el 2 será $eR=Pr$; que es la ecuacion que deberá servir para fijar el espesor de los tubos.

»La cantidad R depende de la materia de que el tubo está formado, y es siempre dada por la esperiencia.

»La cantidad P espresa la presion normal que el tubo sufre, referida á la unidad de superficie. Ella es pues variable. Mas como los tubos están espuestos por la cerradura repentina de las llaves á sufrir golpes de ariete, cuyo efecto se desenvuelve en razon de la masa líquida en movimiento, multiplicada por el cuadrado de la velocidad, es necesario examinar de antemano si estos tubos pueden sostener una presion considerable; por lo que se necesita probarlos ántes de que sean empleados.

»Por lo que P debe ser igualmente mirada como constante en la ecuacion.

»Por consiguiente, el espesor de los tubos es simplemente pro-

porcional á su diámetro, y el peso que constituye el gasto aumenta como el cuadrado de estos diámetros.

»Conociendo así las espresiones de los gastos relativos al establecimiento de las máquinas y de los conductos, y la influencia contraria que una variacion en la altura á que se eleva el agua puede ejercer sobre ellas, se tratará en cada caso particular, de determinar el nivel de los depósitos y los diámetros de los conductos, de modo que la suma de estos dos gastos sean un *mínimo*.

»Los tubos que sirven para la conduccion de las aguas, pueden ser 1.° de madera natural; 2.° de madera encorvada; 3.° de alfarería; 4.° de piedra natural; 5.° de piedra artificial; 6.° de plomo; 7.° de fierro batido; 8.° de fundicion de fierro. Se trata de compararlos entre sí bajo el doble aspecto de resistencia y gasto, teniendo en consideracion, no solo los esfuerzos que deben aguantar, sinó las diferentes causas de destruccion, como el orin, la humedad, el modo de unirlos &c.

»Hemos visto que la ecuacion que sirve para determinar el espesor de los tubos tiene por espresion $eR=Pr$; en la que P indica la presion normal que la pared esperimenta referida á la unidad de superficie, y R la máxima tension que se quiere hacer sufrir á las fibras ó materia del tubo en esta unidad superficial.

»La cantidad R depende de la materia de que está formado el tubo, y debe fijarse de modo que, suponiendo que la pared sufra la carga permanente que indica, no se altere por ella su naturaleza física. Existen pocos esperimentos especiales que hagan conocer con certidumbre segun las diferentes sustancias que sirven para la formacion de los tubos, el límite de que se trata."

328 *Mr. Genieys* presenta en el párrafo 291 una tabla donde reune el resultado de los esperimentos mas exactos que existen sobre esta materia, y que le sirven de base para establecer lo que sigue:

"Las nociones presentadas en esta tabla dan á conocer de un modo aproximativo los límites de los esfuerzos que se pueden hacer, ya para verificar la rotura de los cuerpos, ya para alterar su naturaleza física. Pero no bastan para determinar las dimensiones de las piezas empleadas en los trabajos hidráulicos. No es suficiente, en efecto, haberse uno asegurado de que las fuerzas que obran en cada pieza, no causen inmediatamente su rotura, ni aun el que la accion permanente ó frecuentemente repetida de estas fuerzas no produzca alteraciones que puedan aumentar con el tiempo y originar su destruccion; se debe aun en cuanto sea posible, determinar el espesor de los tubos

para precaver las causas que los deterioran, y que dependen considerablemente de las acciones químicas de los cuerpos. Así, la humedad conspira sin cesár á destruir los tubos de madera, el orin ataca los tubos de fundicion de fierro, los ácidos se combinan con el plomo; de manera, que sinó se les diese mas que las dimensiones que resultan de la solucion directa de los problemas relativos á las resistencias de los sólidos, no se hubiera hecho aun bastante para la seguridad.

»Estas determinaciones no son susceptibles de una precision absolutamente rigorosa; pues la esperiencia no ha suministrado todavía suficientes resultados sobre este objeto.

»Sin embargo, como es muy esencial tener una regla que sirva de guia en las diferentes circunstancias, vamos á comparar los espesores de los tubos que da la fórmula con los que se emplean ordinariamente; lo que nos facilitará el deducir de aquí el valor de la constante ó exceso de espesor que se deberá añadir para cada especie de tubo."

329 Y despues de presentar los resultados que hasta ahora se tienen de la esperiencia y otras deducciones juiciosas que hace, procede á determinar los gruesos que se deben dar á los tubos; y respecto de los de plomo y de fierro, que son los que mas uso pueden y deben tener en los trabajos hidráulicos, se esplica de este modo.

"Los tubos de madera se pudren con facilidad cuando se colocan en tierra; pocas veces se hallan árboles sanos y que presenten una resistencia uniforme, de modo que, en general, no se deben emplear estos tubos sinó para conducciones aisladas, donde el agua no esperimenta una presion superior á dos atmósferas *. Los conductos para la distribucion de las aguas á los diferentes cuarteles de Londres, y

---

* Esta idéa de tomar por unidad de medida la presion atmosférica es la mas vaga é indeterminada que se puede concebir; á causa de que nada hay mas variable en la naturaleza que dicha presion. En efecto, ella varía con la latitud y con la altura sobre el nivel del mar; y ademas en un mismo parage varía á cada instante. A pesar de estos inconvenientes, se ha tomado por unidad de medida para todo lo relativo al vapor del agua en las bombas de fuego, y en otras aplicaciones á diferentes objetos de utilidad; mas cuando se hace uso de esta unidad de medida, se supone que la presion atmosférica es la de una columna de mercurio de 0,76 centímetros; y como este metal es unas trece veces y media mas pesado que el agua, resulta que la presion atmosférica equivale á la presion de 10,26 metros ó de 36,833 pies españoles; de manera, que la frase del autor de *dos atmósferas,* es como si dijese de 73,666 pies españoles.

París eran en otro tiempo todos de madera. Pero cuando se quisieron establecer máquinas de vapor y aumentar la presion, se abrieron rendijas en todos sus puntos y se vieron precisados á reemplazarlos con tubos de fundicion de fierro. En el dia ya no existen.

»Los tubos de plomo esperimentan una alteracion sensible por la accion de los ácidos cuando se les coloca por ejemplo en tierras salitrosas; si forman un conducto en que el agua pueda tomar una cierta velocidad y producir golpes de ariete por el cerramiento repentino de las llaves, se manifiestan con bastante frecuencia venteaduras que disminuyen el grueso de la pared, porque el plomo es compresible, pero no elástico. La prudencia exige que se adopte un esceso de grueso de 0,0045 de metro (unas 2 líneas españolas): lo cual da para la ecuacion de la resistencia $e=0,005nd+0,0045$.

»Los tubos de fierro batido no se emplean en los trabajos de distribucion de aguas, á causa de la dificultad de unirlos. Se hacen con él recipientes y calderas, y se da á las láminas de fierro batido un exceso de espesor ó de grueso de $0,003^{m}$ (una y media línea española) para salvar el inconveniente de la oxidacion; de donde resulta $e=0,0005nd+0,003$.

»Los tubos de fundicion de fierro son los que se usan de preferencia por la facilidad que se tiene, al moldearlos de hacer variar su diámetro y darles un espesor capaz de hacerles resistir á las fuertes presiones. Se oxidan como los de fierro batido: ademas rara vez se obtiene fundicion de un grano perfectamente homogéneo, lo que ha determinado á que se aumente el espesor en un centímetro (unas 5 líneas españolas) cualquiera que sea el diámetro de los tubos.

»Luego tendrémos $e=0,0007nd+0,01$.

»La fuerza de los tubos de fundicion depende mucho de los procedimientos empleados al moldearlos.

»Se acostumbra colocar el núcleo horizontalmente en el molde, y resulta de aquí.

1.° »Que la materia fluida desvia el núcleo y le levanta; lo que origina el que el tubo resulta con ménos espesor por arriba que por abajo; y que esté espuesto á ser ovalado y no cilíndrico.

2.° »Que las búrbujas de aire y las escorías suban á la parte superior y formen rebentaduras que debilitan mucho el tubo.

»Se remediarán en parte estos inconvenientes colocando el núcleo verticalmente en el molde, pero los maestros de fragua no quieren seguir este procedimiento, porque exige mas escrupulosidad y aumenta un poco el precio de la mano de obra; así es, que solamente las dos

terceras partes de sus tubos resisten á la prueba que se les hace sufrir ántes de emplearlos.

»El reconocimiento y prueba de los tubos tienen por objeto el hacer desechar los que adolecen de las faltas siguientes.

1.° »Aquellos cuyo grueso, en lugar de ser uniforme en todo su contorno es mas debil por un lado que 0,002 de metro (una línea española) de lo que debe ser.

2.° »Aquellos cuyo contorno, ya interior, ya esterior es elíptico en lugar de ser circular, y cuya diferencia de diámetros escede á 0,003 de metro (línea y media española).

3.° »Aquellos en que se advierten escarabajos ó grietas que conspiran á disminuir la fuerza de la fundicion.

4.° »En fin, aquellos que sometidos á la carga de una columna de agua de 100 metros de altura (359 pies españoles) dejan escapar el agua por pequeños intersticios, ó se rezuman.

»Las verificaciones relativas al peso y á las dimensiones, se ejecutan con el auxilio de una balanza, del metro y del compas de espesor.

»Se asegura uno de los escarabajos y de las grietas, sacudiendo en los tubos suaves martillazos.

»No debemos atenernos á las pruebas que han podido hacerse en la oficina de fundicion, al ménos es prudente renovarlas en lugar de emplearlos ántes de colocarlos en su lugar.

»La esperiencia ha probado que el vaiven de los carruages, sin ocasionar hendiduras precisamente ú otra falta notable de continuidad, obra sensiblemente sobre las partes mas defectuosas del metal, hasta el punto de no ser posible muchas veces hacer uso de ellos.

»En otro tiempo no se daban sinó tres pies de longitud á los tubos de fundicion; pero en el dia que se ha perfeccionado su fabricacion * se les da desde 2 metros á 2,^{m}70 (de 7 á 10 pies españoles) para no multiplicar demasiado las junturas."

* Tenemos la mayor satisfaccion en anunciar, que ya existe en España un establecimiento en que se funde y forja el fierro con la perfeccion que se puede apetecer, planteado con arreglo á los conocimientos modernos; y siendo la fabricacion y purificacion del fierro una de las fuentes mas abundantes de prosperidad en Inglaterra, Suecia, Prusia &c., en que el mineral de fierro ni es tan esquisito ni tan abundante como el de España, si en nuestro pais se multiplicase competentemente el establecimiento de hornos altos y la elaboracion del fierro por el procedimiento que se llama *á la inglesa*, que está fundado en las mas felices aplicaciones de las Matemáticas, y que describirémos en la obra que preparamos con el título de *Riqueza mineral de España*, sería esto el complemento de la felicidad de nuestra Península y de sus beneméritos habitantes.

A pesar de que en el espresado establecimiento se construye cuanto

330 No pudiendo nosotros detenernos en todos los detalles, debemos indicar que en la espresada obra de *Mr. Genieys* se encuentra bastante circunstanciadamente cuanto conviene tener en consideracion acerca de los medios de ejecutar las construcciones, estendiéndose competentemente sobre los grifones ó llaves de las fuentes, sobre las ventosas, &c., &c.; pero lo que no queremos ni podemos dejar de espresar es que en la construccion de las grandes conducciones, es indispensable atender á la dilatacion que produce el calor y la contraccion que produce el frio, para poner de distancia en distancia

---

en esta parte se puede apetecer, he visto con dolor mientras he permanecido en el Estrangero, que se han hecho muchos pedidos de España fuera del Reino sobre esta materia, sin duda por ignorar que en nuestro pais se puede proporcionar ya cuanto se necesite en este ramo con ménos gastos, siendo los artefactos de igual ú superior calidad.

Por lo que juzgamos oportuno, conveniente y necesario el dar una noticia del espresado establecimiento, de cuya prosperidad y de que se formen otros á su imitacion han de resultar ventajas de consideracion á los Españoles.

La fábrica, de que hablamos, conocida con el nombre de Artunduaga, se halla situada en un barrio de este nombre en la Ante-Iglesia de San Miguel de Bascuri en el Señorío de Vizcaya; está junto al camino Real que va de la ciudad de Orduña á Bilbao una legua antes de esta última Villa; pertenece en el dia á D. Ramon de Mazarredo y Gomez de la Torre, vecino y del comercio de Bilbao, cuyo hermano mayor el difunto D. Lope, sugeto de grandes conocimientos habiendo viajado por todá Europa y visto muchas fábricas en el curso de sus viages, se lastimaba de que en su pais natal, el mas propio para fábricas de fierro, no hubiese una siquiera de 1.ª fusion, ó sean hornos altos, reverberos &c.; y llevado de sus sentimientos patrióticos, sin reparar en gasto alguno, pues es bien sabido el mucho dinero que cuesta el emprender obras de esta naturaleza en un pais donde no se tiene el menor conocimiento de ellas, resolvió emprenderla, y la tubo concluida á fin del año de 1807.

Nadie tenía nociones en el pais Vascongado de las fundiciones de fierro colado, ni conocia el moldéo y demás operaciones &c. Fué, pues, necesario hacer venir del estrangero maquinistas, fundidores y moldeadores, obligándolos á sacar aprendices que á los pocos años pudiesen sustituirles, y se logró á costa de grandes sacrificios haciéndonos en la parte de ollas ó potes independientes de los estrangeros, y quedó fijada esta industria en el suelo Vizcaino con gran ventaja de los labradores y demas habitantes de San Miguel de Bascuri, que ganan su vida en los acarréos de venas, carbones, fierros y otros efectos; en los moldéos y demás operaciones de la fábrica, que, ejecutándose la mayor parte en tiempo de invierno, les ofrece la ventaja de ganar un buen jornal á cubierto de la inclemencia, cuando no podian ganarle en ninguna otra parte; siguiéndose el resultado natural de que cuanto allí se gasta refluya en beneficio de todo el pueblo que, aunque compuesto de 115 vecinos, solo tenía una ó dos yuntas de bueyes al empezarse la fábrica, y hoy son muchos los que las tienen,

tubos compensadores que eviten los graves perjuicios que, sin atender á esta circunstancia, podrían resultar.

331 Como el modo de que usa el Autor para determinar las resistencias, y gruesos que se deben dar á los tubos, es nuevo bajo cierto aspecto, y por otra parte es el punto que mas dificultades presenta por no haber suficientes datos esperimentales, y porque los que existen no estando todos referidos á unas mismas medidas, causa mucho embarazo y espone á muchas equivocaciones la reduccion frecuente que es indispensable hacer de unas pesas y medidas á otras, no se debe estrañar el que no se presenten estos con toda la claridad que exige su importancia.

Mas para facilitar á nuestros lectores el que puedan hacer uso de las fórmulas anteriores, las reducirémos á nuestras medidas, y harémos aplicacion de cada una de ellas á un ejemplo particular.

Para esto, debemos advertir ante todas cosas que en las ecuaciones anteriores, el número n espresa el número de atmósferas á que equivale la presion del líquido; pero suponiendo esta presion valuada por la de una columna de agua de 10 metros de altura; por manera que para hacer aplicaciones con relacion á la altura total del agua, que nosotros espresarémos por A, deberémos suponer

---

viven con bastante ensanche y cultivan por decontado sus tierras mucho mejor que ántes.

En la actualidad el establecimiento se compone de lo siguiente:

1 Rueda hidráulica que da movimiento á 2 fuelles iguales á los que se usan en Francia, conocidos con el nombre de Pistones, los cuales dan el aire suficiente para el horno alto de primera fusion=2 hornitos á la inglesa para obras de segunda fundicion y para dos fraguas.
1 Rueda id. para el torno, la cual da al mismo tiempo movimiento á una máquina de aserrar chapas de caoba y otras maderas finas que en el piso segundo tiene establecido con Real privilegio su pariente D. Celestino de Mazarredo.
1 Rueda id. para limpiar, pulir &c. las planchas de aplanchar la ropa, lo mismo que para afilar y pulir todo lo demás que se ofrezca.
2 Hornos grandes de reverbero.
4 Fraguas con fuelles movidos á brazo.
1 Grande moldería.
2 Grandes carboneras y á mas otros almacenes y habitaciones para maestros y obreros.

Los artículos que se trabajan y pueden trabajarse, con presencia de modelos bien hechos, son los siguientes.

De fierro colado ó fundido.

Ollas ó potes con tapas ó sin ellas de los números 4, 5, 6, 7½, 10, 12, 15, 18, 24, 30, y 36 por cada carrada compuesta de tantos potes como representa su suma, esto es, 4 potes la del número 4, y asi sucesi-

que n es igual con $\frac{A}{10}$ ó lo que es lo mismo con $0,1A$.

Sustituyendo por n este valor en las ecuaciones anteriores y multiplicando despues toda la ecuacion por 3,5889 que son los pies españoles que tiene el metro, se nos convertirán en las siguientes.

Para los tubos de plomo resultará
$e=0,00179445 \times A \times d + 0,01615$ (145).

Para los tubos de fierro batido, ó sea tambien para determinar el grueso que se debe dar á las planchas de las calderas de las bombas de vapor, se tendrá $e=0,000179445 \times A \times d + 0,010767$ (146).

Y para determinar el grueso que se debe dar á los tubos de fundicion de fierro, se tendrá la fórmula siguiente:
$e=0,0002512 \times A \times d + 0,035889$ (147).

En estas tres fórmulas, A representa la altura de las aguas en el nivel superior del depósito sobre el parage mas bajo del tubo, es-

---

vamente. . . . . Rs. vn. 310.

Id. id. Tomando en pequeñas partidas de los números 36, 30, 24 y 18 cada carrada á 360 rs. vn.

Id. id. de los números 15, 12, 10, 7½, 6, 5, y 4, id. á 340 rs.

Tomando partidas en grande, se hacen rebajas adecuadas.

Hornillas para el uso de las cocinas cuadradas y redondas, á saber; las cuadradas del número 1.° de seis pulgadas por lo interior á 11 rs. cada una; número 2 de 7 pulgadas á 13; número 3 de 7½ á 8 pulgadas á 16; y asi sucesivamente. Redondas las hay de dos tamaños, á razon de 18 rs. cada una; pero se pueden hacer del tamaño que se quieran á razon de 1½ rs. vn. la libra.

Morteros ó almireces con sus mangos ó sin ellos para cocinas, boticas &c. á 1½ rs. vn. la libra.

Trasfuegos para cocinas y chimenéas, segun su tamaño y peso á razon de 1¼ á 1½ rs. vn. la libra.

Morillos para chimenéas francesas sobre los que descansan los trozos de leña á razon de 1½ á 2 rs. la libra.

Curvas ó recodos para barcos y fábricas de casas á razon de 1 real de vn. la libra.

Almadanetas de todos tamaños, id.

Mandarrias, id. id.

Pesas afinadas para pesar en piezas de 4 @, 2 @, 1 @ y ½ @ id.

Barras ó galápagos de todos tamaños para lastrar barcos á razon de 70 rs. el quintal.

Yunques y mazos para ferrerías, martinetes &c., á razon de 1½ rs. vn. la libra.

Mesas para fanderías con sus adherentes, id.

Guijos con sus trompos ó sin ellos para ingenios de azucar, torneados sus muñones, á razon de 160 rs. el quintal.

Ruedas lisas y dentadas de todos tamaños, pequeñas con grandes á razon de 2 rs. vn. la libra.

Cepos, medias lunas y toda otra pieza de maquinaria de la clase

presada en pies españoles, y d representa el diámetro del mismo tubo espresado tambien en pies españoles; y traduciéndolas en regla, resulta que la (145) nos da la siguiente para la práctica:

Para determinar el grueso que se debe dar á un tubo de plomo de un diámetro determinado en pies españoles, para que sufra la presion de una carga de agua, determinada tambien en pies españoles, y que resista á las alteraciones de los ácidos y demas, practíquese lo siguiente: se multiplicará la carga por el diámetro, espresadas ambas cantidades en pies españoles; el producto se multiplicará por el número constante 0,00179445; *y al producto que resulte, se le añadirá el número* 0,01615; y la suma espresará en pies ó en partes de pie español el grueso que debe tener el tubo de plomo.

Ej. Supongamos que se nos pida determinar el grueso que haya de tener un tubo de plomo de 6 pulgadas de diámetro, para que resista la presion de una columna de agua de 200 pies. Para esto, multiplicaré la carga 200 por $\frac{1}{2}$ ó por 0,5 de pie á que equivalen las 6 pulgadas que tiene de diámetro, y saco el producto 100, que multiplicado por el número constante 0,00179445, da 0,179445, al cual añadiendo 0,01615, se convierte en 0,195595 de pie español que hacen 2 pulgadas y 4 líneas.

332 La (ec. 146) nos suministra la siguiente regla: *para de-*

---

que se pida, pequeñas con grandes á razon de 2 rs. vn. la libra.

Cilindros lisos y bien torneados con sus adherentes, piñones segun su tamaño y peso de 2 á 2½ rs. vn. la libra.

Cilindros bien torneados y á mas acanalados id. id. de 2½ á 3 rs. vn. la libra.

Balaustres y berjas bien sean lisos, ó con mazorcas, perillas, botones, ú otros adornos de 1¼ á 1½ rs. vn. la libra.

Bujes para coches, carros de Artillería &c. á razon de 2 rs. vn. libra.

Planchas para aplanchar ropa de los números 3, 4, 5, y 6 tomando por partidas é igual cantidad de todos números, se dan á razon de 10 rs. vn. cada plancha una con otra.

Jarrones ó vasos etruscos para plantar flores &c. á 1½ rs. vn. la libra.

Tubos ó cañería, tanto cerrados como abiertos para la conduccion del gas, aguas á las fuentes y regadíos de huertas, jardines &c., desde 3 hasta 14 ó mas pulgadas de diámetro interior con el grueso correspondiente y de 2 á 3 varas castellanas de largo cada tubo, á razon de 1 á 1½ rs. vn. la libra, siendo los mas baratos los de mayores dimensiones.

Tengo igualmente la satisfaccion de haber visto en la Esposicion pública de este año de 1831 muchos y escelentes artefactos de fierro procedentes de la empresa de ferrería titulada nuestra Señora de la Concepcion, situada en Rio Verde, término de Marbella, cuyo Director es D. Diego María Lopez, del comercio de Málaga.

terminar el grueso que se debe dar á un tubo de fierro batido para que resista á una presion representada por la altura de una columna de agua espresada en pies españoles, y cuyo diámetro sea tambien determinado en la misma medida, se practicará lo siguiente: multiplíquese la altura de la columna de agua que representa la carga ó presion por el diámetro del tubo; y el producto que se obtenga vuélvase á multiplicar por el número constante 0,000179445; *al producto que resulte añádase el número* 0,010767 *que tambien es constante*; y se tendrá el grueso que se deba dar al tubo espresado en pies españoles.

Ej. Supongamos que se quiera determinar el grueso de un tubo de fierro batido ó laminado para que sostenga la carga de una columna de agua de 200 pies españoles, y cuyo diámetro sea de 6 pulgadas. Practicando la regla encuentro 0,0287 de pie español, que equivale á 0,345 de pulgada ó á 4 líneas españolas.

333 La (ec. 147) traducida en regla nos suministra la siguiente: *para determinar el grueso que se debe dar á un tubo de fierro fundido ó colado de un diámetro interior espresado en pies españoles, para que resista á una carga de agua determinada en la misma medida, se multiplicará el diámetro del tubo por la carga; el producto se volverá á multiplicar por el número constante* 0,0002512; *y al producto que se obtenga se añadirá el número tambien constante* 0,035889; *y la suma espresará en pies ó partes de pie español, el grueso que se deberá dar al espresado tubo de fundicion de fierro.*

Ej. Haciendo aplicacion al mismo caso de ser la carga 200 pies españoles y 6 pulgadas en diámetro, se halla que el grueso del tubo debe ser 0,061 de pie español, que hacen 0,732 pulgadas ó cerca de 9 líneas españolas.

334 Tambien se hallan en el *Tratado de Física de Mr. Beudant* varias idéas que tienen relacion con nuestro objeto y de que teníamos ya hechas algunas apuntaciones para insertarlas; pero como dicha obra se halla traducida en Español con notas y adiciones de mucha importancia por nuestro condiscípulo *don Nicolas Arias*, omitirémos lo que teníamos pensado estractar; pero, recomendando el estudio de dicha obra, que ha ganado mucho con publicarse en castellano, pasemos á insertar aquí lo mas adecuado á nuestro intento de los *Elementos de Física Esperimental y de Meteorologia por* C. S. M. M. R. Pouillet. El tomo 1.º parte 1.ª impreso en 1827 principia del modo siguiente:

"Los fenómenos naturales que se producen en la tierra, y los que aparecen en el cielo, son para todos los hombres un grande objeto de meditacion; los espíritus ménos cultivados los miran con asombro; los espíritus mas elevados, los comtemplan con admiracion; y todos, por una facultad comun, procuran señalar en sus apariencias, algunas propiedades mas ó ménos sorprendentes, ó algunas verdades mas ó ménos profundas. El deséo de penetrar en un asunto tan maravilloso nos arrastra, á pesar nuestro; desprendámonos un momento de los cuidados y distracciones de la vida; y fíjese nuestra atencion en el cuadro de los fenómenos de la naturaleza; unas veces se dirigen al conjunto, y recorren curiosamente la vasta estension del horizonte; otras se detienen en un punto, y siguen el curso de un fenómeno, ó los periódos de un movimiento. Hemos nacido observadores; y bajo este aspecto, todos los hombres son físicos. Pero reflexionando acerca de tantas cosas diversas, contraemos el hábito de generalizar los resultados de nuestras reflexiones; salimos de los límites de lo que ven nuestros ojos y de lo que se demuestra por sí mismo; queremos asimilar los efectos observados para elevarnos hasta las causas que los producen; entónces es cuando principia la incertidumbre de nuestros juicios; y cuando los talentos despejados hacen ver todo su poder, y los otros toda su debilidad.

Pág. 21 »Las búrbujas de jabon que dan tan brillantes colores, son láminas delgadas de agua, cuyo grueso ha medido Newton. Cerca de su vértice no tienen comunmente sinó $\frac{1}{10000}$ de milímetro (viene á ser $\frac{1}{20000}$ de línea española); y se reducen á $\frac{1}{100000}$, cuando dejan ver una mancha negra algunos instantes antes de reventar.

Pág. 31 »Los líquidos son en general mucho ménos compresibles que los sólidos.

Pág. 139 "Solamente es necesario observar que el agua de los mares no es un fluido homogéneo en toda la estension de su masa, y su temperatura muda con la latitud, y con la profundidad; el grado de salobridad muda tambien; todas estas causas hacen variar la densidad en los diferentes parages, y de aquí resulta una multitud de movimientos por los cuales el equilibrio propende á establecerse. El agua del Océano afluye en el Mediterráneo por el estrecho de Gibraltar, como lo prueba una corriente rápida; pero no se sabe si una corriente contraria, que se verificase á mayor profundidad haría que el agua del Mediterráneo pasase al Océano. Si esta segunda corriente existe, son sin duda producidas por la diferencia

de densidad de las capas *; sinó existe, es necesario suponer que el Mediterráneo pierde por la evaporacion ó por otras causas, mas agua que la que recibe del Nilo, del Ródano, del Danubio y de todos los rios que desembocan en él, y que el Océano viene á compensar esta pérdida conservándola en la altura necesaria para el equilibrio.

335 »Hé aqui los resultados obtenidos hasta ahora acerca del nivel de los mares. Durante la espedicion de Egipto, una comision de ingenieros, bajo la direccion de Mr. Le Pére, ha determinado las alturas relativas del mar Rojo y del mar Mediterráneo. Esta operacion merece una confianza bastante grande y da por resultado una diferencia de nivel muy notable entre estos dos mares, que se hallan tan próximos al istmo de Suez y que por otra parte comunican con el Océano. En las maréas bajas, el mar Rojo está aun elevado $8,^{m}12$ (unos 29 pies españoles, sobre el mar Mediterráneo; y en las maréas altas su esceso de altura es de $9,^{m}9$ (unos $35\frac{1}{2}$ pies españoles). Asi se encuentra confirmada la opinion de los antiguos sobre los peligros de abrir una comunicacion entre los dos mares.... *Mr. Girard* valúa la medida de lo que se eleva el suelo del Nilo en 126 milímetros (cerca de medio pie español) por siglo. Segun esto, faltan todavía muchos siglos para que el Bajo Egipto estuviese solamente al nivel del mar Rojo.

»En la operacion de la Meridiana de Francia, Mr. Delambre ha calculado la altura de Rodas sobre el nivel del Mediterráneo en Barcelona, y su altura sobre el nivel del Océano, que baña el pie de la torre de Dunquerque; estas dos alturas casi son iguales entre sí, de donde resulta que si existe alguna diferencia de nivel entre el mar Mediterráneo en Barcelona, y el Océano en Dunquerque, es muy pequeña.

»*Mr. Humboldt*, en su viage á la América, ha hecho en las costas del Océano atlántico, y en las del mar del Sur, observaciones

* En mi concepto, estas dos corrientes se verifican simultáneamente; pero no por la causa que indica el Autor, sinó por la fuerza centrífuga. En efecto, siendo el movimiento de la tierra al rededor de su eje de occidente á oriente, y creciendo la fuerza centrífuga á proporcion de los radios (§ 423 Mec.) las capas superiores del mar están animadas de mayor fuerza que las inferiores; y por lo mismo deben estar animadas de mayor impulso; por lo que en la superficie se ve siempre entrar agua del Océano al Mediterráneo. Esta cantidad de agua, estendiéndose en el Mediterráneo, pierde su movimiento poco á poco; y el agua inferior para que se conserve el nivel, debe refluir del Mediterráneo al Océano.

barométricas, de que se puede sacar algun conocimiento acerca de la altura relativa de estos dos mares. De los términos medios de las alturas barométricas tomadas por una parte en Cartagena, en Cumaná y en Veracruz sobre la costa oriental de Mégico; y por otra parte, en Callao y Acapulco sobre las orillas del mar del Sur, resultaría que el mar del Sur estaba mas elevado que el Océano 7 metros (unos 25 pies españoles). Otras observaciones de *Mr. Humboldt* darían una diferencia un poco mayor; pero este célebre viagero no da los resultados precedentes sinó como una primera aproximacion suponiendo que las desiguales alturas de las mareas, las horas diferentes de los establecimientos de los puertos y la estension mayor ó menor de las variaciones horarias del barómetro, son otras tantas causas que pueden tener una influencia en medidas tan delicadas.

»El nivel del mar Caspio ha sido el objeto de muchas observaciones recientes. Se ha determinado en 1815 por *MMrs. d'Engelbardt* y *Parrot*, en su curioso viage al Caucaso y la Criméa; lo ha sido en 1818 por *Mr. Pansner*; y hácia esta misma época *Mr. Wisniewski*, ha publicado en las Memorias de *Petersburgo* la serie de observaciones que ha hecho con el mismo objeto desde 1812. Todas estas medidas están acordes en colocar el nivel del mar Caspio mucho mas bajo que el nivel del mar Negro; en virtud del resultado medio, se puede estimar esta diferencia en 100 metros (unos 359 pies españoles). Sin embargo, cerca de las costas del mar Caspio, y hasta una gran distancia de sus orillas actuales se encuentran pruebas evidentes de la mansion de las aguas saladas. La naturaleza del suelo, su forma y su composicion química, los despojos de conchas y los esqueletos de pescados de que está lleno, parece no dejar duda ninguna de que el mar en otro tiempo ha cubierto todos estos parages á muchos centenares de leguas de distancia.

»La mezcla de las aguas de los rios con las aguas del mar, presenta igualmente algunos fenómenos de Hidrostática que es bastante curioso observar. El agua dulce siendo mas ligera, debe permanecer en la superficie, mientras que el agua salada debe, en virtud de su mayor peso específico, formar las capas mas profundas.

Pág. 146 »La pesantez del aire, que había sido sospechada en otro tiempo, aun ántes de Aristóteles, no ha sido verdaderamente demostrada sinó en 1640 por Galiléo; un poco mas tarde ha sido confirmada por los interesantes esperimentos de *Torricelli* y por los mas sorprendentes de *Pascal*.

336 Pág. 193 »La Hidrodinámica tiene por objeto determinar

los principios del movimieuto de los fluidos; la Hidráulica es la aplicacion de estos principios al arte de conducir las aguas y de hacerlas servir para mover las máquinas.

»La cuestion del movimiento de los fluidos es una de las mas importantes de la Mecánica racional; pero tambien es una de las mas complicadas y difíciles. Estando en reposo una masa fluida solo se necesita para ponerla en movimiento en toda su estension una ligera alteracion en una sola de sus moléculas; y los movimientos que resultan de aquí se modifican por tantas causas, ya en sus velocidades, ya en sus direcciones, que con dificultad se concibe la variedad y complicacion de los fenómenos á que pueden dar orígen. Sin embargo, poseemos sobre este asunto algunas leyes fundamentales, determinadas por la teoría, y una multitud de esperimentos, que sin hallarse sometidos al cálculo, presentan utilísimas aplicaciones en las Artes.

337 Pág. 200 »Muchos Físicos se han propuesto determinar, ya directa, ya indirectamente, la relacion que existe entre la seccion contraida y la seccion del orificio; y todos están conformes en concluir que esta relacion se halla comprendida entre 0,6 y 0,7; es decir, que en su *mínimo* la seccion de la vena solo es $\frac{6}{10}$ ó $\frac{7}{10}$, ó unos *dos tercios* de la superficie de la abertura. Esta relacion es la que se llama *contraccion de la vena.*

»La distancia de la seccion contraida á la cara interior de la pared, es en general un poco mayor que el radio del orificio cuando este es pequeño; mas en grandes aberturas, la seccion contraida parece no llegar á este límite.

»Estos resultados son sobre poco mas ó ménos independientes de la forma del orificio y de la presion bajo que sale el líquido. Solamente respecto de orificios, cuyo diámetro es menor que un centímetro, la contraccion es menor que 0,7, lo que procede indudablemente, de que entónces el espesor de la pared viene á ser sensible, y produce un efecto análogo al de los tubos adicionales.

»Cuando la presion que se efectúa encima de un orificio horizontal es muy pequeña, se verifica una contraccion de otra especie; el líquido llena aun el orificio; pero resbala de las paredes hácia el centro para formar un filete que es algunas veces muy pequeño. Esto es lo que *Mr. Hachette* llama una *vena secundaria.*

338 Pág. 206 »La unidad de medida, para las aguas corrientes, se conoce con el nombre de *pulgada de fontanero ó pulgada de agua*, y es la cantidad de este líquido que sale en un minuto

por un orificio circular de una pulgada de diámetro, hecho en una pared vertical con una carga del espresado líquido de 7 líneas sobre el centro del orificio, ó de una línea sobre su punto culminante. El volúmen de agua que pasa en tales circunstancias es 14 pintas antiguas de París ó 672 pulgadas cúbicas por minuto (1064,784 pulgadas cúbicas españolas ó 0,61619 de pie cúbico español).

»Resulta de lo dicho acerca de los tubos adicionales que un propietario á quien se concede cierta cantidad de agua, y por consiguiente un orificio en pared delgada de cierta magnitud, podría sacar del mismo orificio un volúmen de agua vez y media mayor; así en las *concesiones* importa no solo estipular el diámetro de la abertura, sinó aun determinar la especie de tubo adicional que se haya de emplear.

»Parece que en París el gasto diario viene á ser unos 102 metros cúbicos, que equivale á 15 libras por persona (unas 7 y ½ azumbres).

339 Pág. 206 »De los *saltadores* ó *surtidores*.

»Hay surtidores que se elevan verticalmente de abajo arriba, y otros que se elevan en garzotas describiendo parábolas de diversas amplitudes. Los orificios que dan nacimiento á los surtidores verticales están abiertos en paredes horizontales, y los que dan orígen á saltadores parabólicos, lo están en paredes diversamente inclinadas. En todos los casos, la direccion del chorro es producida por la pesantez, que es siempre vertical, y por la presion ó la fuerza impulsiva, que es siempre perpendicular á la pared. En virtud del teorema de *Torricelli*, las moléculas líquidas teniendo en el orificio la misma velocidad que si hubiesen caido de una altura igual á la del nivel del líquido en el depósito, se ve que esta velocidad, dirigida de abajo arriba, sería precisamente capaz de hacer subir de nuevo todas las moléculas hasta la altura de este nivel, de donde se reputa que descienden. Así, la altura del chorro vertical sería siempre igual á la elevacion del nivel sobre el orificio. Pero hay muchas causas que impiden á las aguas ascendentes el llegar á esta altura teórica; ellas esperimentan rozamientos contra las paredes de los tubos que las conducen desde el depósito hasta el orificio y contra el orificio mismo, cuyas paredes rasan con gran velocidad; esperimentan igualmente la resistencia del aire atmosférico, y en fin las aguas despues de haber llegado al punto mas alto del surtidor, vuelven á caer sobre las aguas ascendentes, y las roban parte de su movimiento. Para reducir todas estas resistencias á sus menores valores, se acostumbra usar en la práctica las reglas siguientes.

1.ª »Se da á los tubos de conduccion un diámetro que depende de sus longitudes, de la magnitud del orificio y de la altura del depósito. El diámetro podrá calcularse por las fórmulas que darémos inmediatamente para los tubos de conduccion. Se dispone de modo que la velocidad del agua en los tubos sea á lo mas 2 ó 3 decímetros por segundo (10 ó 12 pulgadas españolas).

2.ª »Se hace el orificio circular y se le abre en una pared delgada, que es una placa llamada *platina*. Cuando se pueda evitar el encorvar el tubo, la platina está ajustada hácia su estremo, y forma una parte de su pared lateral superior. Cuando se ve uno precisado á torcer el tubo, se le encorva hácia arriba, redondeándolo; y entónces la platina forma su estremo. La mencionada platina es plana, ó curva en forma de casquete convexo, segun se quiera un surtidor vertical, ó una garzota de muchos surtidores parabólicos.

»Todo tubo adicional cilíndrico ó cónico produce un chorro ménos elevado que los orificios en paredes delgadas.

»Satisfechas estas condiciones, se admite, segun los esperimentos de *Mariotte*, que el surtidor se eleva á una altura de 5 pies para una altura de depósito de cinco pies y una pulgada, y que en general, para tener la altura del depósito, es necesario á la altura H del surtidor, valuada en pies, añadir tantas pulgadas como se encuentran unidades en $\frac{H}{5}$ elevado al cuadrado *. Así, un surtidor de 100 pies supone un depósito de 100 pies mas 400 pulgadas; ó en fin de 133 pies y 4 pulgadas.

340 »De los *tubos de conduccion*. La conduccion de las aguas es un punto importante de economía pública é industrial; pero al mismo tiempo es una cuestion de Hidráulica que presenta grandes dificultades. Algunos centímetros de mas ó de ménos en el diámetro de los tubos que distribuyen las aguas en una gran poblacion, corresponden á un capital de muchos millones; y es necesario conciliar la circunstancia de que sean bastante anchos para que suministren toda la cantidad de agua necesaria, y bastante estrechos para que cuesten lo ménos posible. *Mr. Prony* ha obtenido la fórmula siguien-

* Esta regla no se diferencia esencialmente de la nuestra (§ 283) sinó en el enunciado (§ 283); y así es que aplicada al mismo ejemplo que aquí, da igual resultado.

te para el movimiento del agua en los tubos de fundicion, de que se componen los encañados $V=26{,}79\sqrt{\frac{DH}{L}}$.

»En la cual D representa el diámetro del tubo; L su longitud; H la altura del nivel del agua en el depósito sobre el estremo del tubo por donde corre el agua, y V la velocidad del agua en el orificio ó en toda la longitud del tubo.

»Para aplicar esta fórmula es necesario que $\frac{D}{L}$ no esceda á $\frac{1}{100}$, es decir, que la longitud del tubo sea al ménos 100 veces su diámetro; y es necesario aun que su diámetro no sea muy pequeño; si no tuviese mas que algunos milímetros ó aun un centímetro, la fórmula daría indudablemente resultados demasiado grandes *.

241 »*Del paso de los líquidos por tubos muy finos. Mr. Girard* ha hecho esperimentos muy curiosos sobre este asunto; sentimos no poder dar aquí sinó los resultados generales. Los líquidos, que no pueden mojar la sustancia sólida de los tubos, cesan de correr bajo una presion mas ó ménos considerable, segun el diámetro del tubo, y su longitud. Por ejemplo, bajo una presion de $9{,}^{mm}5$ (cerca de 5 líneas españolas), el mercurio ha cesado de correr en un tubo de vidrio de $1{,}^{mm}12$ de diámetro (poco mas de media línea española) y de 357 mil.^{s} de longitud (1,28 pies españoles).

»Los líquidos que mojan los tubos pasan con la misma velocidad, ya se sumerja el estremo del tubo en un líquido de la misma naturaleza, teniendo cuenta con la presion, ya se deje libre, para que el paso se haga en el aire.

»En los tubos que pueden ser mojados, el aumento de temperatura acelera la velocidad en una proporcion considerable; el agua que corre en un tubo de vidrio de $1{,}^{mm}767$ de diámetro (una línea española escasa), y de 939^{mm} de longitud (cerca de media línea española) bajo una presion de 182^{mm} (cerca de una décima de línea española) corre por ejemplo cuatro veces mas veloz cuando está próxima á la

* Aquí se ve, que no se da medio alguno para determinar el movimiento cuando la longitud del tubo no equivale á 100 veces su diámetro; lo cual comprueba cuanto hemos dicho acerca de lo muy ventajoso, útil, conveniente y necesario que ha sido el haber prolongado nosotros la tabla (§ 52) para tener en todos casos reglas fijas que nos conduzcan á determinar el movimiento de los líquidos, como hemos establecido (§ 269).

ebullicion, que cuando lo está á la congelacion. La temperatura de menor velocidad es la temperatura del hielo, y no la temperatura del *máximo* de densidad.

»Bajo presiones iguales, y en tubos de la misma dimension, los diversos líquidos toman, á la misma temperatura, velocidades muy diferentes variando con la temperatura la relacion de dichas velocidades.

»*Dubuat*, es á mi parecer el primero que ha observado la influencia del calor en la velocidad del paso; despues *Gerstner* ha hecho sobre este asunto un gran número de esperimentos publicados en 1800, en los anales de *Gilbert*. Estos resultados son curiosos, pero no bastan para concluir, como ha dicho *Mr. Gerstner*, que si el calor da mas actividad á la vegetacion y á la vida, es solamente por favorecer la circulacion en los vasos capilares de las plantas y de los cuerpos vivos.

342 Pág. 214 »*De las presiones laterales que ejercen los líquidos en movimiento.*

»Un líquido que corre en tubos adicionales ó en tubos de conduccion ejerce siempre contra sus paredes menor presion que si estuviese en reposo. *Daniel Bernoulli* espresa esta presion que se verifica durante el movimiento por $H-H'$.

343 Pág. 217 »*Del paso del agua en los canales.* Nada es mas variable que la velocidad del agua en los lechos de los rios: las inclinaciones mas ó ménos rápidas, los rozamientos laterales, las circunstancias accidentales del fondo y las sinuosidades de las orillas, son causas que modifican sin cesar el movimiento de los filetes líquidos; y que producen remolinos, ó vueltas y una série de otros fenómenos que se pueden esplicar en cada localidad, pero que es imposible calcular de antemano. Los canales de inclinacion uniforme, direccion rectilínea y dimensiones constantes presentan resultados mas simples y mas generales. Las diferentes capas líquidas desde la superficie hasta la del fondo, están animadas de velocidades diferentes; y aun en cada capa los filetes de las orillas y el del medio no pueden tener la misma velocidad á causa de la adherencia y del rozamiento que tienen lugar en el contacto con su pared......

»En todas las secciones, que se pueden hacer, perpendiculares al curso de un rio, pasa la misma cantidad de agua en el mismo tiempo; porque esta condicion es la que determina que el *régimen se halla establecido*, es decir, que el nivel permanece el mismo en cada punto, sin que haya tendencia allí á la acumulacion ni á la

depresion. Para conocer el gasto de un rio sería necesario determinar la cantidad de agua que pasa por una seccion cualquiera. Esto equivale á tener que averiguar dos cosas: la superficie de la seccion, y la velocidad media de todos los filetes que la atraviesan. Pero la velocidad media no es aquí, como en los canales, 0,8 de la velocidad *máxima* y sería imposible determinar en general la relacion que existe entre ellas, pues que basta una elevacion de fondo, una oquedad, una sinuosidad de la orilla, ó aun otra causa ménos aparente para mudar su valor. Lo mas sencillo y al mismo tiempo lo mas exacto para medir un rio, es pues, hacerle pasar por un caz cuyas dimensiones y profundidad por debajo del nivel se tengan conocidas, hacerle pasar por encima de un dique donde forme una cascada cuyo ancho y espesor se pueda conocer.

344 Pág. 232 »*De la contraccion de la vena en el movimiento de los gases*. Los únicos esperimentos conocidos sobre este asunto, son los publicados en los *Anales de Química por Mr. d' Aubuisson*......y este ingeniero de minas ha deducido estas consecuencias: 1.ª que el aire que pasa por orificios de paredes delgadas, forma una vena contraida, cuya seccion es como en los líquidos 0,65 de la superficie del orificio; 2.ª que, en los tubos adicionales cilíndricos, esta relacion es 0,93; 3.ª que es igual á 0,95 en los tubos adicionales cónicos poco embudados.

»Una circunstancia digna de notarse, es que un tubo cuya longitud es 20 ó 30 veces su diámetro produce mas gasto que un orificio en pared delgada de la misma magnitud.

345 »*Del paso de los gases en los tubos*. *Mr. Girard* en union con *Mr. Cagniard-Latour* han hecho una série de esperimentos sobre el paso del aire y del hidrógeno carbonado; de donde han deducido las consecuencias siguientes:

1.ª »Que el gas hidrógeno carbonado y el aire atmosférico sometidos al mismo estado de compresion, se mueven en virtud de las mismas leyes, y sufren exactamente la misma resistencia en los mismos tubos, y esto independientemente de sus pesos específicos.

2.ª »Que las resistencias que sufren los fluidos aeriformes á moverse en tubos de conduccion, son exactamente proporcionales á los cuadrados de sus velocidades medias.

3.ª »En fin, que en virtud de estas leyes y de las del movimiento lineal, los gastos del gas por un conducto dado de grueso uniforme, están siempre en razon directa de la presion indicada en el depósito que alimenta el paso, y en razon inversa de la raiz

cuadrada de la longitud del conducto por el cual se verifica el tránsito.

»Los esperimentos para cada gas han sido hechos en dos conductos; el primero tenía 0,^{m}081 de diámetro (cerca de tres pulgadas y media) y las longitudes, han sido sucesivamente 129 metros, 376 y 623 metros (463, 1349 y 2236 pies españoles). El segundo tenía 0,016^{m} (8,27 líneas españolas), y las longitudes han sido sucesivamente 37^{m}, 56^{m}, 85^{m}, 109^{m} y 126^{m} (133 pies españoles, 201, 305, 391, y 452). La presion en todos los esperimentos era de 0,034 de metro (cerca de pulgada y media española) de agua. Un orificio en pared delgada del mismo diámetro que el pequeño conducto daba un gasto once veces mayor que una longitud de 126 metros (452 pies españoles) de este conducto; esta relacion ha sido la misma para el aire y para el hidrógeno carbonado.

346 »*Del paso de los gases por tubos muy finos.* Resulta de algunos ensayos de *Mr. Faraday*, sobre el paso de los gases por tubos muy finos, que se producen entónces fenómenos singulares que dependen de la presion y de la naturaleza de los gases; los mas ligeros que, bajo fuertes presiones, pasan lo mas velozmente, parecen al contrario pasar con la mayor lentitud bajo menores presiones.

347 Pág. 234 »*De las presiones laterales de los gases durante el paso.* Se produce, en los grandes fuelles de las fraguas un fenómeno notable, que no se ha escapado á la sagacidad de *MMrs. Boigues*, propietarios de las fraguas de *Fourchambaut*, y de que han sido testigos *MMrs. Thenard y Clement.* Si se tiene una abertura de 1 á 2 pulgadas de diámetro en la pared *plana* de un depósito de aire comprimido, este se escapa con gran violencia; pero si acercándole un disco de madera ó de metal de 7 á 8 pulgadas de diámetro, y despues de haber vencido la primera resistencia, se aplica á la abertura, no es ya rechazado como ántes; oscila vivamente, alejándose ó aproximándose á la abertura en límites muy aproximados: el aire continúa escapándose con gran ruido, entre la superficie del disco y la de la pared, y si entónces se quisiera retirar el disco, sería necesario un grande esfuerzo: aunque *separado* de la pared, parece *pegado* á ella. *Mr. Clement* da una esplicacion de este fenómeno que parece de todo punto conforme á los principios del movimiento de los fluidos. La vena que sale de la abertura debe ensancharse en lámina muy delgada para pasar entre el disco y la pared (fig. 52 lám. 3.ª); permaneciendo el mismo su espesor, debe ensancharse á medida que se aproxima de la circunferencia del disco; tambien se

encuentra en el mismo caso que la vena fluida, que debe llenar un cono cuyas secciones vengan á ser siempre crecientes; de aquí resulta una especie de succion igual á la que se observa en los tubos adicionales cónicos. Es, pues, la presion atmosférica la que obra de fuera adentro, sobre la superficie del disco, con mayor ó menor porcion de su energía, segun es mas ó ménos reducida la presion lateral; y como esta es muy diferente á diversas distancias de la abertura, es necesario que en los puntos donde es mas débil, se encuentre mucho menor que la presion atmosférica. Parece que la diferencia que existe entre la presion atmosférica, y la suma de las presiones laterales es ella misma dependiente del espesor de la lámina de aire que pasa, y que viene á ser mayor cuando esta lámina se hace un poco mas gruesa; de aquí emanan las oscilaciones del disco y el esfuerzo necesario para desprenderle. Las condiciones de este fenómeno de succion pueden ser para los gases, muy diferentes de lo que son para los líquidos, á causa de la diferencia total de las afinidades moleculares.

» Este hecho no solamente tiene una grande importancia teórica, sinó que despierta la atencion sobre un verdadero peligro que pueden ofrecer las válvulas de seguridad de las máquinas de vapor: se ve, en efecto, que bajo ciertas condiciones, la lámina de vapor delgada se escapa, en lugar de rechazar á lo lejos la válvula para proporcionarse una salida espaciosa, podría trasformarse en una fuerza atractiva tanto mas capaz de retenerla cuanto el peligro fuese mayor.

348 Pág. 237 » Libro 2.º *Del calor*..... Hay pues un *agente*, que es distinto de la sustancia propia de los cuerpos, que emana de su masa, que traspasa las mayores distancias, que establece una comunicacion continua entre ellos y nosotros, y que es la *causa* de las sensaciones de calor que esperimentamos; este agente ha recibido diferentes nombres; primero, confundiendo la causa con el efecto, le han llamado *calor*; despues, por nociones mas exactas sobre su modo de existir se le ha nombrado *fluido igneo*, *materia del fuego*, &c., en fin, en la reforma de la nomenclatura química, *Lavoisier*, *Bertollet*, *Morveau y Fourcroy* lo han llamado *calórico*.

» El calórico no solamente obra sobre los cuerpos organizados, sinó tambien sobre los inorgánicos.

349 Pág. 242 » *Propagacion del calórico*. El calórico se propaga en el interior de los cuerpos y fuera de ellos.

» En los cuerpos se propaga de molécula á molécula sin intermision hasta las mas interiores de su sustancia..... Se llaman *buenos*

conductores los que se dejan penetrar fácilmente por el calor, y toman rápidamente la temperatura que deben tener, y *malos conductores* los que se dejan penetrar ménos fácilmente y son mas lentos en ponerse en equilibrio de temperatura en todas sus partes. Los metales son en general buenos conductores. El vidrio, el azufre, el carbon, las piedras de diferentes especies, todas las sustancias vegetales y animales, son en general *malos conductores*; los líquidos y los gases son los peores que se conocen.

»El *calórico radiante* viene á ser un calórico ordinario, cuando es absorvido por los cuerpos, y que se difunde por la conductibilidad en las diferentes partes de su masa; y recíprocamente, el calórico que se escapa de los cuerpos á medida que se enfrian, lo hace bajo la forma de calórico radiante, á ménos de no encontrar inmediatamente cuerpos que le absorvan y en los cuales no pueda pasar sinó de molécula en molécula.

350 Pág. 244 »*Produccion del calor y del frio.* El calórico puede acumularse en los cuerpos; pero no se puede guardar en vasos, como el aire, el agua, y los demas fluidos ponderables: ninguna sustancia es impenetrable al calórico; este es un fluido *incoercible* que está sin cesar en movimiento para comunicarse de molécula á molécula en los cuerpos contiguos, ó para difundirse en el espacio bajo forma radiante. Si un cuerpo caliente, tal como una bala por ejemplo, estuviese sumergida á 10 pies debajo de tierra, todos saben que su calor se comunicaría á las capas que la rodean; de estas á las siguientes; y así de unas en otras á distancias muy considerables; despues de un tiempo bastante grande, esta bala se enfriaría sin que se perdiese parte alguna de su calor; este se habrá esparcido en los cuerpos vecinos, y se le podrá en rigor encontrar y recoger en totalidad. Cuando un cuerpo se enfria en el aire, el fenómeno es diferente; parte de su calor pasa á las moléculas de aire que le tocan; pero otra porcion se escapa bajo forma radiante, sobre poco mas ó ménos como la luz se escapa de la llama, y estos rayos de calor esparciéndose en todas partes, los unos van á caer sobre los cuerpos que los detienen y los absorven en parte, los otros se elevan hácia el zenit, atraviesan todo el espesor de la atmósfera y se van á *perder* en la inmensidad del espacio. Los hay sin duda que van á caer sobre el sol y sobre los cuerpos celestes, como sucede tambien á la luz de una bugía el esparcirse hasta los astros. Lo que es verdadero de un cuerpo suspendido en el aire, lo es igualmente del globo entero de la tierra colocado en medio del espacio. Así, la tierra se en-

fria; á cada instante la atmósfera y todos los cuerpos terrestres que están espuestos al aspecto del cielo pierden parte de su calórico por la radiacion. Es necesario, pues, que haya fuentes de calor, que reparen á cada instante las pérdidas que hace la tierra; y que puedan mantener sobre su superficie esta temperatura media, cuya intensidad es una condicion necesaria á los fenómenos de la vegetacion y de las funciones de la vida.

»Verémos que hay tres fuentes de calor para compensar el enfriamiento que sufre la tierra, y para mantener de una manera sobre poco mas ó ménos permanente el equilibrio de las temperaturas terrestres. La primera es un calor primitivo que reina aun á grandes profundidades y que se disipa poco á poco; ella mantiene las partes centrales de la tierra á un calor sin duda mayor que el del fierro fundido, pero no contribuye sinó en débil proporcion á las temperaturas de la superficie.

»La segunda es el calor solar, cuya medida darémos en los Elementos de Meteorología: veremos que todo el calórico que el Sol esparce sobre la tierra en el trascurso de un año es capaz de fundir una cierta cantidad de hielo que hemos llegado á determinar por medios simples y rigurosos.

»La tercera fuente del calor es la que resulta de las acciones mecánicas y químicas que se ejercen sobre la materia. El simple contacto de los cuerpos desprende calor, la compresion, el rozamiento, la percusion, y todas las mudanzas mecánicas que pueden sufrir las moléculas materiales desprenden igualmente calor ó frio. Últimamente, las combinaciones químicas, ya las naturales que acompañan al nacimiento, desarrollo y descomposicion de los seres, ya las accidentales, que son productos del arte, son otros tantos fenómenos de produccion de calor ó frio, cuyas leyes importa conocer.

351 Pág. 279 »*La potencia de contraccion* de los sólidos es igual á la *resistencia de traccion que pueden oponer*. Si es necesario un peso de mil quilógramas (2173 libras españoles) para dar á una barra de fierro vertical una prolongacion igual al que tomaría por un aumento de temperatura de 1°, es evidente que si se la carga en su estremo inferior con mil quilógramas de peso y al mismo tiempo se la enfria 1°, la contraccion del enfriamiento compensará la prolongacion de la traccion, y la longitud permanecerá la misma que si la barra no estuviese ni enfriada 1°, ni tirada por las mil quilógramas. Siendo muy grande la tenacidad del fierro, se ha podido aprovechar esta propiedad para ejercer esfuerzos que hubieran en algun modo

escedido los demas medios mecánicos. Así es, por ejemplo, como se ven en el conservatorio de Artes y Oficios (de París), largas barras de fierro atravesando dos muros opuestos, y que han servido para aproximar estos muros, á pesar de la grande presion que los separaba de su aplomo natural. A *Mr. Molard* se debe esta rigurosa aplicacion de las leyes del enfriamiento. Puestas en su lugar las barras, se calentaban en toda su longitud; y mientras que estaban dilatadas, se estrechaban los tornillos esteriores á los muros; entónces la potencia de contraccion producida por la diminucion de temperatura aproximaba los dos estremos de las barras, y por consiguiente los obstáculos que á ello se oponían.

»Como una barra de metal se rompe bajo un esfuerzo suficiente, del mismo modo lo hace por la contraccion, cuando sus estremos están de tal modo detenidos, que no se pueden aproximar el uno al otro en una proporcion conveniente. Se ven con demasiada frecuencia fenómenos de esta especie en las largas piezas de metal que se trabajan en los rigorosos calores del estío, y que no se hallan detenidas con bastantes precauciones.

»Los ingenieros tienen sin cesar ocasion de aplicar estos principios en las grandes construcciones de que están encargados.

352 Pág. 312 » *De la fusion y de la solidificacion.* Es fácil de conocer que la *fusion* ó el paso del estado sólido al estado líquido es un fenómeno producido por el calor, y que ninguna otra causa en la naturaleza puede hacer pasar los cuerpos á esta mudanza de estado; el hielo puede romperse y reducirse á polvo; puede ser sometido á todas las potencias mecánicas y á todos los agentes naturales, sin dejar de ser un cuerpo sólido, á no ser que el calor venga á ejercer su accion sobre él para convertirle en agua. Lo mismo sucede con la cera; y cuando se la ve fundir á los rayos del sol, se sabe bien que es por el efecto del calor por lo que ella entra en fusion y no por el efecto de la luz; y si el plomo puede liquidarse y venir á ser líquido ó fundido, cuando se le bate sobre un yunque á golpes reiterados, es porque la compresion y la percusion desprenden calor, de todo punto semejante al de un hogar.

».....A otra distancia del sol, la tierra tomaría otra consistencia y otro aspecto; si estuviese mas próxima, los metales estarían por la mayor parte en un estado habitual de fusion, y las profundidades del mar, en lugar de estar llenas de agua, podrían muy bien estar llenas de sustancias metálicas liquidadas; al contrario, si estuviese mas lejana, el mar sería una masa sólida, no habría entónces agua

corriente, y probablemente no existiría líquido en circulacion para producir los fenómenos orgánicos de la vegetacion y de la vida.

»Penetrando el calor todos los cuerpos y pudiendo dilatar todas sus partes, es curioso investigar si puede igualmente hacerlos pasar sin escepcion del estado sólido al estado líquido. Pero, examinando bajo este punto de vista todos los cuerpos sólidos, se hallan entre ellos grandes diferencias; los hay que son muy *fusibles* y que no pueden resistir temperaturas muy bajas sin pasar al estado líquido, tales son el hielo, el fósforo, el azufre, la cera, los cuerpos grasos y las resinas; hay otros que exigen, para fundirse, temperaturas un poco mas elevadas, como el estaño, el plomo y muchas aleaciones compuestas de diferentes metales; en fin, los hay que no pueden entrar en fusion sinó por el fuego sostenido por largo tiempo y á las mas altas temperaturas que somos capaces de producir; el fierro, el acero, el oro, y la platina se hallan en este caso. Los cuerpos que resisten á estos mas altos grados de calor se llaman *infusibles*, *fijos ó refractarios*; y como nuestros medios de desenvolver el calor se perfeccionan de dia en dia, el número de las sustancias infusibles ha ido sin cesar disminuyendo. El carbon parece ser el mas refractario de todos los cuerpos; sin embargo, muchos Físicos pretenden haber observado algunas trazas de fusion sobre las aristas de los diamantes que sometían al ensayo. Mientras se comprueba este resultado, se puede al ménos concluir por analogía que no hay cuerpos verdaderamente infusibles.

»Las sustancias orgánicas se componen en general de carbono y de sustancias gaseosas mas ó ménos volátiles; de donde resulta que, sometidas á la accion de un calor elevado, se descomponen mas bien que se liquidan. La madera fuertemente calentada, se carboniza y no se funde; lo mismo sucede con los frutos, flores y otros tejidos vegetales, así como se verifica tambien con las fibras musculares y todos los otros tejidos de los cuerpos vivos. Se forman en estas circunstancias una multitud de combinaciones nuevas, cuyos productos se exhalan con mas ó ménos fuerza, y no queda en último resultado sinó el carbon y los otros elementos fijos, que sirven de bases á estos compuestos orgánicos.

»Muchas sustancias inorgánicas presentan fenómenos análogos, y ha sido necesario el espíritu inventor de *Hall* para demostrar su fusibilidad. Su procedimiento consiste en calentar los cuerpos manteniéndolos bajo una alta presion, de tal suerte, que los elementos mas volátiles no se pueden exhalar. Así es como Hall ha hecho fundir

mármol sin convertirle en cal, y como ha demostrado igualmente la fusibilidad de un gran número de sustancias volcánicas. Estos resultados son importantes para discutir el orígen y la formacion de las diversas capas de que se compone la tierra.

»*Condiciones de la fusion.* Cuando los cuerpos pasan del estado sólido al líquido presentan dos fenómenos singulares; primero quedan sólidos hasta que hayan llegado á una cierta temperatura *fija*, que es siempre la misma para el mismo cuerpo, y entónces es cuando la fusion puede principiar; en segundo lugar, ellos permanecen á la misma temperatura durante todo el tiempo de la fusion, cualquiera que sea la cantidad de calórico que se les suministre; de donde se sigue que absorven este calórico para fundirse y que le ocultan en su interior sin dejar aparecer nada de él fuera. Así la *fijacion de temperatura, y la absorcion del calórico latente*, son las dos condiciones esenciales de la fusion..... Hacía ya cerca de 100 años que se había inventado el termómetro, cuando no se conocía de un modo cierto la invariabilidad del punto de fusion de los cuerpos; se creía que el hielo por ejemplo, debía entrar en fusion á diversas temperaturas, segun la latitud ó la elevacion de los lugares donde se había formado. Demostrada ya la primera condicion de la fusion, se necesitaron aun 30 ó 40 años para convencerse de la otra, es decir, de la absorcion del calórico latente; porque fué en 1763 cuando *Black* puso esta verdad fundamental en toda su claridad, y cuando hizo ver sus importantes consecuencias.

353 Pág. 316 »La nieve y la sal, por ejemplo, no teniendo accion sensible, á 18° ó 20° debajo de cero, es imposible obtener con estos elementos un frio mayor que—18° ó—20°, pues que mas allá de este término dejan de combinarse........Se empléa entónces lo que se llaman *fundentes*, es decir, cuerpos que tienen la propiedad de acelerar la fusion de las materias en cuyo contacto se hallan, sobre poco mas ó ménos como la sal acelera la fusion de la nieve ó del hielo. El compuesto que resulta, siendo mas fusible que la sustancia á la cual se añade el fundente, se puede sacar partido de ello con mas facilidad: unas veces se le destina á otras combinaciones químicas, como sucede al mineral de fierro, que entra en fusion por el fundente, y luego se desoxida y carboniza para trasformarse en fundicion; otras veces se le trabaja inmediatamente, como el vidrio, y otras se observan los matices de su color para juzgar por esto de los elementos químicos que le constituyen.

»Un gran número de Físicos se han tomado el trabajo de deter-

minar los puntos de fusion de diferentes cuerpos, y hemos reunido en la tabla siguiente los que están mejor averiguados, y que parecen ser de un uso mas frecuente. Hemos ya prevenido que es imposible valuar con alguna confianza los grados del pirómetro de Wedgwood en grados centígrados.

Tabla *de los puntos de fusion de diferentes sustancias, en grados del pirómetro de Wedgwood, y del termómetro centígrado.*

NOMBRES DE LAS SUSTANCIAS.	Grados del pirómetro.	Grados centesimales.
Tungsteno.	170	..
Cromo.	170	..
Molibdeno.	170	..
Colombio.	170	..
Manganeso.	160	..
Níquel.	160	..
Fierro.	130	..
Acero.	130	..
Cobalto.	130	..
Oro.	32	..
Cobre.	27	..
Plata.	..	538
Antimonio.	..	432
Zinc.	..	360
Plomo.	..	260
Bismuto.	..	256
Estaño.	..	210
Aleacion id.	..	..
De { 8 de estaño, 1 de bismuto. }	..	200
De { 2 de estaño, 1 de bismuto. }	..	167,7
De 3 est. 1 plomo.	..	167,7
De 1 est. 1 bism.	..	141,2

NOMBRES DE LAS SUSTANCIAS.	Grados del pirómetro.	Grados centesimales.
De { 1 plom. 4 est. y 5 bismuto. }	..	118,9
Azufre.	..	109
Iodo.	..	107
Aleacion.	..	..
De { 2 plom. 3 est. y 5 bismuto. }	..	100
De { 5 plom. 3 est. y 8 bismuto. }	..	100
Sódio.	..	90
Potasio.	..	58
Fósforo.	..	43
Ácido steásico.	..	0
Cera blanca.	..	68
Cera no blanca.	..	61
Ácido margárico.	..	55 á 60
Steasina.	..	49 á 43
Spermaceti.	..	49
Ácido cético.	..	45
Sebo.	..	33,33
Hielo.	..	0,0
Aceite de trementina.	..	−10
Mercurio.	..	−39,0

354 »*Solidificacion.* Cuando los líquidos pasan al estado sólido, se observan generalmente dos condiciones correspondientes á las de la fusion: 1.ª la solidificacion se efectúa á una temperatura

fija, que es la de la fusion; 2.ª todo el calórico latente, absorvido durante la fusion, es reproducido y desprendido durante la solidificacion.

355 Pág. 319 »Una misma sustancia líquida puede tomar, al solidificarse, aspectos y propiedades muy diferentes. Cuando el fenómeno se produce lentamente y sin turbacion, sucede ordinariamente que la sustancia cristaliza y toma la mayor densidad de que es susceptible. Al contrario, cuando el enfriamiento es pronto, ó cuando la masa líquida está agitada de alguna manera, las moléculas no tienen el tiempo de agruparse y de colocarse, se precipitan repentinamente y forman un sólido cuyas partes interiores se hallan en un estado mas ó ménos violento. Verémos al hablar de las *Acciones moleculares*, los fenómenos que presentan, bajo este punto de vista, el azufre, el fósforo, el vidrio y otros muchos cuerpos, cuando se enfrian repentinamente, partiendo de una temperatura un poco elevada y sobre todo cuando están obligados á una solidificacion brusca.

356 Pág. 320 »*De los vapores en el vacío. Los vapores se forman con lentitud en el aire, y en el vacío instantáneamente.* Cuando se espone un líquido al contacto del aire, sucede comunmente que disminuye poco á poco, y despues de mas ó ménos tiempo, desaparece enteramente. Así, el agua que cubre la tierra, despues de las lluvias, no resiste el soplo de un viento seco, ni la accion prolongada del sol; se disipa en pocos dias, y no es solo, como se sabe porque se filtra en el suelo, sinó mas bien porque se exhala en los aires. Por lo demas, se tiene la prueba de esto, examinando lo que sucede á un vaso lleno de agua, espuesto al aire libre ó en un aposento; el agua disminuye de instante en instante, y por último no quedan en el fondo del vaso sinó los cuerpos estraños que contenía en disolucion *. El mismo fenómeno se verifica con una rapidez mayor aun, haciendo hervir un líquido por la accion del fuego; aquel no es absorvido ni por el vaso ni por el fuego: y con todo desaparece al cabo de algunas horas. De estas diversas observaciones se puede concluir, que los líquidos cambian de estado, que se hacen invisibles, y adquieren una fuerza espansiva; en fin, que se *vaporizan* ó

---

* En los meses de diciembre, enero y febrero de 1830, yo he hecho esperimentos y observaciones sobre este particular en Madrid calle de las Huertas; y aunque no se pueden considerar como de una gran precision, no obstante son suficientes para formar una idéa aproximada, y los resultados han sido que, aun en los tiempos de mayores hielos, se verificaba próximamente en un vaso de los regulares de beber, un decremento en la altura del líquido de la cuarta parte de línea española en cada veinte y cuatro horas.

reducen á *vapores*, es decir, que toman una existencia análoga á la de los gases. Los cuerpos son tanto mas *volátiles* cuanto se convierten en vapor ó se vaporizan mas prontamente, y á temperaturas ménos elevadas. Tambien se puede observar, que en ciertos casos, todo el líquido no pasa al estado de vapor. Esto sucede cuando hay una mezcla de muchos cuerpos diferentes que pueden separarse por medio de la *evaporacion*; entónces las partes mas volátiles, se exhalan mas abundantemente, y lo que queda no se compone ya de los mismos elementos, ó al ménos no entran estos en las mismas proporciones.

»Por mucho tiempo se ha supuesto, que los vapores no podían formarse ni subsistir por sí mismos; sinó que tomaban principio en la superficie de los líquidos por la accion disolvente del aire, y que esta misma causa era necesaria aun para mantenerlos suspensos en la atmósfera. Para manifestar la falsedad de esta opinion, y al mismo tiempo estudiar las propiedades notables de los vapores, el medio mas sencillo consiste en presentarles un espacio vacío de aire y gases en que puedan desarrollarse libremente por sí mismos. El vacío barométrico es eminentemente propio para este género de esperimentos, no solo por ser tan perfecto como es posible, sinó porque, siendo móvil la columna de mercurio, puede indicar, con su depresion, la energía de la fuerza espansiva que se ejerce en su parte superior.

»Supongamos, pues, que en una cubeta se dispongan dos barómetros que indiquen exactísimamente la presion de la atmósfera; y que despues se haga pasar una corta cantidad de agua al tubo de uno de ellos. El agua sube en virtud de su menor peso específico; llega bien pronto al vacío de Torricelli; y al instante se observa en la estremidad superior de la columna, bajar una cierta cantidad. El peso de la pequeña columna de agua superior, no es el que ha podido deprimir el mercurio; tampoco el aire que hubiera podido contener y que se hubiese exhalado. Luego es preciso que la sustancia propia del agua se haya *vaporizado* en el vacío, y que su vapor tenga una propiedad semejante á la que hemos llamado *fuerza espansiva*, *fuerza elástica*, ó *tension de los gases*, porque obra del mismo modo que una corta cantidad de aire que se hubiera hecho pasar por encima del mercurio.

»La *medida de esta fuerza elástica* es dada por la *depresion* que ha sufrido la columna donde se ha introducido el agua, es decir, por lo que ha bajado la parte superior.

» *Mr. Gay-Lussac* ha hecho construir un aparato que es muy cómodo para manifestar y medir en el mismo instante las diferentes fuerzas elásticas de varias sustancias....

357 Pág. 323 » *Del máximo de tension de los vapores.* Es evidente que la fuerza espansiva de los vapores se ejerce en todos sentidos, como la de los gases; tambien es evidente que se ejerce indefinidamente; es decir, que una cantidad de vapor por pequeña que sea, se difunde por todas las partes de un espacio vacío, por grande que este pueda ser, y va á detenerse en las paredes que limitan este espacio, ejerciendo en él una presion mas ó ménos considerable. Así, la mas mínima partícula de agua es capaz, al vaporizarse, de tomar un volúmen de muchos miles de metros cúbicos, como lo haría la mas mínima molécula de aire dilatándose en este espacio. Pero si los vapores tienen una fuerza espansiva ilimitada, por la que pueden tomar volúmenes indefinidamente grandes, no tienen una fuerza elástica indefinidamente creciente, por cuyo medio puedan resistir á las presiones que se ejerce sobre ellas, y reducirse á ocupar volúmenes cada vez menores; vamos á ver en efecto que, dada una cantidad de vapor, si se trata de comprimirle para aumentar su fuerza elástica, se llega á un punto en que este vapor se *condensa*, y vuelve á pasar al estado líquido, mas bien que adquirir mayor fuerza elástica; este *límite de resistencia á liquidarse*, es lo que se llama la *tension máxima del vapor.*

358 Pág. 325 » *Equilibrio de tension en un espacio desigualmente caliente.* Es fácil reconocer que la temperatura tiene una gran influencia en la *tension máxima de los vapores*; porque haciendo los esperimentos, á diferentes grados de calor; la columna barométrica esperimenta depresiones muy desiguales. Por ejemplo, el vapor de agua tiene una débil tension cuando se forma en la superficie de los lagos, ó en la del mar; tiene una tension mas considerable, cuando se forma por la ebullicion; puesto que entónces sostiene la presion de la atmósfera; en fin, á temperaturas elevadas, esta tension es tan poderosa, que puede no solamente arrojar proyectiles del mas grueso calibre, sinó despedir á grandes distancias máquinas enteras y enormes masas de muchos quintales de peso. Las esplosiones de las máquinas de vapor ofrecen ejemplos demasiado numerosos y terribles de esta verdad. Segun esto, pudiera uno tratar de averiguar la máxima tension del vapor en un espacio de forma cualquiera, cuyas diversas partes estén á temperaturas diferentes. Suponiendo que este espacio no tenga una gran altura, y que el vapor sea, como siempre su-

cede, de poca densidad, es preciso por las condiciones del equilibrio de los fluidos elásticos, que la tension sea la misma en todos los puntos donde haya vapor; y como en los parages mas frios, la máxima tension nunca puede ser tan grande como en los mas calientes, es preciso que en estos últimos la tension deje de estar en su máximo, y que disminuya hasta el punto de ser igual á la tension máxima de los puntos mas frios. Así, establecido el equilibrio en un espacio desigualmente caliente, la tension del vapor es la misma en todos los puntos, y en todas situaciones es igual á la máxima tension de las partes de este espacio que gozan de la temperatura mas baja. Este principio es importante para todas las investigaciones que van á seguir, y en que tratarémos de hallar las relaciones que existen entre la fuerza elástica de los vapores y su temperatura.

359 »*Medida de la fuerza elástica del vapor de agua.* Se mide la tension del vapor de agua entre 0° y 100°, por bajo de 0° y por encima de 100°, hasta las temperaturas mas elevadas. Cada una de estas determinaciones exige un aparato diferente.

»*Entre* 0° *y* 100°—El aparato se compone de dos tubos barométricos colocados muy próximos el uno al otro, y sumergidos en la misma cubeta. El primer tubo es un barómetro perfecto; el segundo es un barómetro de vapor, es decir, un barómetro por encima del cual se ha hecho pasar una columnita de agua que en parte se ha vaporizado en el vacío. Estos dos tubos están cubiertos con un manguito de vidrio, ó mas bien con otro tubo que se sumerge igualmente en la cubeta y que tiene 3 ó 4 pulgadas de ancho, y mas de 30 de altura. Se echa agua en el manguito hasta que pase de los cúspides de los dos tubos barométricos, y despues se enfría y calienta inmediatamente, para que recorra todos los grados desde 0° hasta 100°. Termómetros colocados á diversas alturas, indican á cada instante su temperatura, y es evidente que esta es la misma que la del barómetro perfecto, la del de vapor, y la del vapor mismo que se forma en su parte superior. Para tener la fuerza elástica de este vapor, correspondiente á cada grado, basta observar la depresion del barómetro de vapor con relacion al barómetro perfecto, y se consigue fácilmente por medio de una regla vertical exterior al manguito, y sobre la cual se mueven dos anteojos horizontales, dirigido el uno á la parte superior del barómetro perfecto, y el otro á la parte superior del de vapor. El intérvalo de estos dos anteojos es la medida de la depresion; basta solo hacer en ella una correccion de temperatura para referirla á 0°; porque la columna de mer-

curio que espresa la tension de los vapores debe siempre reducirse á 0°, como la que espresa la altura del barómetro. Tal es el sencillísimo procedimiento imaginado en 1805 por *Dalton de Manchester*, para estudiar los vapores, y que le sirvió para establecer la verdadera teoría de su formacion y de su elasticidad.

»*Por bajo de* 0°. El hielo mismo se vaporiza como el agua: muchas observaciones parecen indicar este resultado; pero á *Gay-Lussac* es á quien somos deudores de un aparato propio para demostrarlo de un modo directo, y ademas para suministrar la medida exacta de la tension de los vapores que se forman en el hielo á todas las temperaturas mas bajas que 0°.

»*Para temperaturas superiores á* 100°. Con el fin de manifestar que sobre 100 grados, la tension del vapor de agua es mayor que una presion atmosférica, se puede emplear un simple tubo recurvo, cuyo brázo corto está cerrado por un estremo; se le llena de mercurio hasta la mitad de la altura del brazo abierto, haciendo pasar al brazo corto una columnita de agua, despues se sumerge el aparato en un baño de aceite cuya temperatura sea mas alta que 100°."

359 *Mr. Pouillet* inserta en dos tablas diferentes los resultados mas exactos que se tienen; y nosotros las hemos reunido en solo la que sigue, añadiendo las columnas 3.ª y 5.ª para presentar en nuestros pesos y medidas los resultados de tan importantes esperimentos.

TABLA *que contiene la tension del vapor del agua y la densidad y volúmen del mismo vapor, desde* **−20** *grados hasta* **315** *del termómetro centígrado.*

1.ª Grados del Termómetro centígrado.	2.ª Tension del vapor en milímetros.	3.ª Tension del vapor en líneas españolas.	4.ª Presion sobre un centímetro cuadrado espresado en kilógramas.	5.ª Presion sobre una línea española cuadrada espresada en libras españolas.	6.ª Densidad del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad la densidad del agua líquida á cero grados.	7.ª Volumen del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad el volúmen del agua líquida á cero grados.
Grados.	*Milimetros.*	*Lineas españolas.*	*Kilógramas.*	*Libras españ.*	*Densidad.*	*Volúmen.*
−20	1,333	0,689	0,0018	0,0001	0,000001339	515717
−15	1,879	0,971	0,0026	0,0002	0,000002679	373065
−10	2,631	1,360	0,0036	0,0003	0,000003678	271881
− 5	3,660	1,892	0,0050	0,0004	0,000005019	199250
0	5,059	2,616	0,0069	0,0006	0,000006807	146904
1	5,393	2,788	0,0074	0,0006	0,000007230	138323
2	5,748	2,972	0,0078	0,0006	0,000007677	130265
3	6,123	3,166	0,0084	0,0007	0,000008147	122742
4	6,523	3,372	0,0089	0,0007	0,000008647	115642
5	6,947	3,592	0,0094	0,0008	0,000009176	108985
6	7,396	3,824	0,0101	0,0008	0,000009733	102746
7	7,871	4,069	0,0107	0,0009	0,000010320	96899
8	8,375	4,330	0,0114	0,0009	0,000010941	91401
9	8,909	4,606	0,0122	0,0010	0,000011596	86235
10	9,475	4,899	0,0129	0,0010	0,000012288	81378
11	10,074	5,208	0,0137	0,0011	0,000013013	76846
12	10,707	5,536	0,0146	0,0012	0,000013778	72582
13	11,378	5,882	0,0155	0,0013	0,000014597	68509
14	12,087	6,249	0,0165	0,0013	0,000015443	64752
15	12,837	6,637	0,0176	0,0014	0,000016344	61184
16	13,630	7,047	0,0186	0,0015	0,000017302	57797
17	14,468	7,480	0,0197	0,0016	0,000018303	54635
18	15,353	7,938	0,0209	0,0017	0,000019359	51684
19	16,288	8,421	0,0222	0,0018	0,000020462	48873
20	17,314	8,951	0,0235	0,0019	0,000021667	46154
21	18,317	9,470	0,0250	0,0020	0,000022851	43762
22	19,447	10,054	0,0265	0,0022	0,000024140	41426
23	20,577	10,638	0,0281	0,0023	0,000025492	39228
24	21,805	11,273	0,0297	0,0024	0,000026911	37159
25	23,090	11,938	0,0314	0,0026	0,000028406	35204
26	24,452	12,642	0,0334	0,0027	0,000029976	33283
27	25,881	13,380	0,0353	0,0029	0,000030622	31624
28	27,390	14,162	0,0374	0,0030	0,000033341	29993
29	29,045	15,016	0,0396	0,0032	0,000035242	28375

1.ª Grados del Termómetro centígrado.	2.ª Tension del vapor en milímetros.	3.ª Tension del vapor en líneas españolas.	4.ª Presion sobre un centímetro cuadrado espresada en kilógramas.	5.ª Presion sobre una línea española cuadrada espresada en libras españolas.	6.ª Densidad del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad la densidad del agua líquida á cero grados.	7.ª Volumen del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad el volúmen del agua líquida á cero grados.
Grados.	*Milímetros.*	*Líneas españolas.*	*Kilógramas.*	*Libras españ.*	*Densidad.*	*Volúmen.*
30	30,643	15,842	0,0418	0,0034	0,000037059	26984
31	32,410	16,756	0,0440	0,0036	0,000039067	25597
32	34,261	17,713	0,0465	0,0038	0,000041160	24296
33	36,188	18,709	0,0492	0,0040	0,000043334	23077
34	38,254	19,777	0,0520	0,0042	0,000045647	21907
35	40,404	20,889	0,0549	0,0045	0,000048054	20810
36	42,743	22,098	0,0581	0,0047	0,000050669	19736
37	45,038	23,285	0,0612	0,0050	0,000053220	18790
38	47,579	24,598	0,0646	0,0053	0,000056037	17845
39	50,147	25,926	0,0681	0,0055	0,000058870	16986
40	52,998	27,400	0,0720	0,0059	0,000062013	16126
41	55,772	28,834	0,0758	0,0062	0,000065042	15375
42	58,792	30,395	0,0799	0,0065	0,000068342	14632
43	61,958	32,032	0,08418	0,0069	0,000071394	13929
44	65,627	33,929	0,08916	0,0073	0,000075803	13192
45	68,751	35,544	0,09340	0,0076	0,000079151	12634
46	72,393	37,427	0,09835	0,0080	0,000083074	12038
47	76,205	39,398	0,10353	0,0084	0,000087169	11472
48	80,195	41,461	0,10900	0,0089	0,000091357	10946
49	84,370	43,619	0,11662	0,0095	0,000095903	10427
50	88,743	45,880	0,12056	0,0098	0,000100551	9945
51	93,301	48,237	0,12676	0,0103	0,000105385	9489
52	98,075	50,705	0,13325	0,0108	0,000110426	9056
53	103,060	53,282	0,13999	0,0114	0,000115727	8641
54	108,070	55,872	0,14710	0,0120	0,000121184	8252
55	113,710	58,788	0,15449	0,0126	0,000126831	7884
56	119,390	61,725	0,16220	0,0132	0,000132777	7531
57	125.310	64,785	0,17035	0,0139	0,000138907	7199
58	131,500	67,986	0,17866	0,0145	0,000145331	6881
59	137,940	71,315	0,18736	0,0152	0,000151937	6582
60	144,660	74,789	0,19653	0,0160	0,000158940	6292
61	151,700	78.429	0,20610	0,0168	0,000166121	6020
62	158.960	82,182	0,21586	0,0176	0,000173585	5761
63	165.560	85,595	0,22639	0,0184	0,000181331	5515
64	174.470	90,201	0,23758	0,0193	0,000189355	5281
65	182,710	94,461	0,24823	0,0202	0,000197655	5059

1.ª Grados del Termómetro centígrado.	2.ª Tension del vapor en milímetros.	3.ª Tension del vapor en líneas españolas.	4.ª Presion sobre un centímetro cuadrado espresada en kilógramas.	5.ª Presion sobre una línea española cuadrada espresada en libras españolas.	6.ª Densidad del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad la densidad del agua líquida á cero grados.	7.ª Volumen del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad el volúmen del agua líquida á cero grados.
Grados.	*Milímetros.*	*Líneas españolas.*	*Kilógramas.*	*Libras españ.*	*Densidad.*	*Volúmen.*
66	191,270	98,887	0,25986	0,0212	0,000206337	4846
67	200,180	103,493	0,27196	0,0221	0,000215290	4645
68	209,440	108,280	0,28454	0,0232	0,000224510	4454
69	219,060	113,254	0,29761	0,0242	0,000234210	4270
70	229,070	118,429	0,31121	0,0253	0,000244173	4095
71	239,450	123,796	0,32532	0,0265	0,000254500	3929
72	250,230	129,369	0,33996	0,0277	0,000265086	3772
73	261,430	135,159	0,35518	0,0289	0,000276137	3621
74	273,030	141,157	0,37094	0,0302	0,000287544	3478
75	285,070	147,381	0,39632	0,0323	0,000299410	3340
76	297,570	153,844	0,40428	0,0329	0,000311625	3209
77	310,490	160,523	0,42184	0,0343	0,000324187	3085
78	323,890	167,451	0,44004	0,0358	0,000337197	2966
79	337,760	174,622	0,45888	0,0373	0,000350569	2853
80	352,080	182,025	0,47834	0,0389	0,000364440	2744
81	367,000	189,739	0,49860	0,0406	0,000378769	2640
82	382,380	197,690	0,51950	0,0423	0,000393531	2541
83	398,280	205,911	0,54110	0,0440	0,000408722	2447
84	414,730	214,415	0,56345	0,0459	0,000424337	2357
85	431,710	223,194	0,58652	0,0477	0,000440477	2270
86	449,260	232,267	0,61036	0,0497	0,000457134	2188
87	467,380	241,635	0,63498	0,0517	0,000474205	2109
88	486,090	251,309	0,66040	0,0537	0,000492921	2033
89	505,380	261,281	0,68661	0,0559	0,000509876	1961
90	525,28	271,570	0,71364	0,0581	0,000528465	1892
91	547,80	283,213	0,74152	0,0604	0,000547554	1826
92	566,95	293,113	0,77026	0,0627	0,000567136	1763
93	588,74	304,379	0,79986	0,0651	0,000587307	1703
94	611,18	315,980	0,83035	0,0676	0,000608064	1645
95	634,27	327,918	0,86172	0,0701	0,000629330	1589
96	658,05	340,212	0,89402	0,0728	0,000651114	1536
97	682,59	352,899	0,92736	0,0755	0,000673495	1485
98	707,63	365,845	0,96138	0,0782	0,000696247	1436
99	733,46	379,199	0,99448	0,0809	0,000719758	1389
100	760,00	392,920	1,03253	0,0840	0,000743728	1345
106,60	950,00	491,150	1,29067	0,1050	0,000913222	1095

1.ª Grados del Termómetro centígrado.	2.ª Tension del vapor en milímetros.	3.ª Tension del vapor en líneas españolas.	4.ª Presion sobre un centímetro cuadrado espresada en kilógramas.	5.ª Presion sobre una línea española cuadrada espresada en libras españolas.	6.ª Densidad del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad la densidad del agua líquida á cero grados.	7.ª Volumen del vapor del agua en su máximo de tension, tomando por unidad el volúmen del agua líquida á cero grados.
Grados.	*Milímetros.*	*Líneas españolas.*	*Kilógramas.*	*Libras españ.*	*Densidad.*	*Volúmen.*
112,40	1140,00	589,380	1,54880	0,1261	0,001079100	926
117,10	1330,00	687,610	1,80697	0,1471	0,001243530	804
121,55	1520,00	785,840	2,06507	0,1681	0,001408515	711
125,50	1710,00	884,070	2,32320	0,1891	0,001564579	639
128,85	1900,00	982,300	2,58134	0,2101	0,001723697	580
132,15	2090,00	1080,530	2,83947	0,2311	0,001880380	532
135,	2280,00	1178,760	3,09760	0,2521	0,002036766	491
137,70	2470,00	1276,990	3,35581	0,2731	0,002191760	457
140,35	2660,00	1375,220	3,61387	0,2941	0,002344990	426
142,70	2850,00	1473,450	3,87200	0,3151	0,002498070	400
144.95	3040,00	1571,680	4,13013	0,3362	0,002650040	377
146,76	3230,00	1669,910	4,38827	0,3572	0,002809800	356
149,15	3420,00	1768,140	4,64640	0,3782	0,002951180	339
151,15	3610,00	1866,370	4,90453	0,3992	0,003100230	323
153,30	3800,00	1964,600	5,16267	0,4202	0,003246690	308
155,	3990,00	2062,830	5,42080	0,4412	0,003392940	295
156,70	4180,00	2161,060	5,67893	0,4622	0,003542680	282
158,30	4370,00	2259,290	5,93707	0,4832	0,003689970	271
160,	4560,00	2357,520	6,19520	0,5042	0,003843250	260
161.54	4750,00	2455,750	6.45334	0,5252	0,003880270	251
163,25	4940,00	2553,980	6,71146	0,5462	0,004123020	243
164,84	5130,00	2652,210	6,96960	0,5673	0,004265820	234
166,42	5320,00	2750,440	7,22773	0,5883	0,004407680	226
167.94	5510,00	2848,670	7,48587	0,6093	0,004549120	220
169.41	5700,00	2946,900	7,74405	0,6303	0,004690120	213
170.78	5890,00	3045,130	8,00213	0,6513	0,004830470	207
172,13	6080,00	3143,360	8,26026	0,6723	0,004971800	201
173.46	6270,00	3241,590	8,51840	0,6933	0,005111660	195
174.79	6460,00	3339,820	8,77653	0,7143	0,005149490	190
176,11	6650,00	3438,050	9,03467	0,7353	0,005389000	185
177,40	6840,00	3536,280	9,29280	0,7563	0,005526990	181
178,68	7030,00	3634,510	9,55093	0,7774	0,005651050	177
179 89	7220,00	3732,740	9,80906	0,7984	0,005801400	172
180,95	7410,00	3830,970	10,06720	0,8194	0,005940000	168
182,	7600,00	3929,200	10,32532	0,8404	0,006078030	165
315,	22800,0				0,019816000	50

Nota. Los Físicos y los Mecánicos principalmente al hablar de la tension del vapor, la comparan con la de la atmósfera; y así es que, en la construccion de las bombas de vapor, se espresa que la presion, es la de *tantas* atmósferas. En esto han procedido con mucha ligereza é inexactitud; pues toda unidad de medida debe ser invariable, y nada hay en la naturaleza que varíe mas que la presion atmosférica; pues muda con la latitud, con la altura sobre el nivel del mar, y en un mismo parage varía con el calor, con el frio, con la humedad y con una multitud de circunstancias locales. Han caido en esta inexactitud por haberse creido en un principio que la presion atmosférica en todos los puntos del nivel del mar era la misma; lo que no es así en virtud de lo espuesto (§ 537 Mec.). Por otra parte, aunque se quiera decir que se toma por presion de la atmósfera la media de una localidad determinada, como la de París, siempre es dar una idéa equivocada, si haciendo una máquina de vapor en París ó en Lóndres, ó en Lieja, se trasportase despues á localidades donde la presion atmosférica variase considerablemente, se podría incurrir en grandes errores; y acaso en las desgracias que han sucedido con las bombas de vapor, al rebentar las calderas, podrá haber influido esta idéa equivocada. Por otra parte, aun cuando se admitiese elegir por unidad de medida la presion media en una localidad conocida, como algunos hacen eligiendo la de París, siempre es dar una idéa falsa el suponerla constante, pues hay varias razones para que sea variable aun la espresada presion media en el trascurso de los siglos.

360 Pág. 342 » *De los vapores mezclados con los gases.* Los líquidos que no se combinan químicamente, pueden mezclarse muy bien por algunos instantes; pero se separan poco á poco, y se desprenden el uno del otro para superponerse segun sus densidades, como el aceite sobre el agua. Si los gases y los vapores tuviesen propiedades semejantes, todo se cambiaría en la tierra; se verían por ejemplo, los vapores que se forman en la superficie de las aguas elevarse como globos, en virtud de su corto peso específico, é impulsados del mismo modo hasta las últimas capas de la atmósfera, saldrían de ella por su elasticidad, para repartirse en todas las partes del vacío. Continuando la evaporacion, se renovaría sin cesar esta ascension; por último los lagos y depósitos de los mares quedarían en seco, y todas las aguas de la tierra se hallarían suspensas por encima de la atmósfera. Es visible, pues, que los fluidos elásticos en sus mezclas, no obedecen como los líquidos á las leyes

de la densidad. Esta verdad fundamental se halla fuera de duda en virtud de un esperimento directo. *Berthollet* había hecho bajar á los sótanos del observatorio, dos globos separados por una llave, el uno lleno de hidrógeno y el otro de ácido carbónico á la misma presion. Despues de colocados arriba el hidrógeno y abajo el ácido carbónico, se pasó mucho tiempo antes de abrir la llave, para ponerlos en comunicacion. Los dos gases estaban seguramente á la misma temperatura, en la quietud mas perfecta y al abrigo de toda agitacion; con todo, la mezcla se hizo con bastante prontitud; la mitad del hidrógeno, á pesar de su ligereza, bajó al globo inferior, y la mitad del ácido carbónico, á pesar de su densidad, pasó al globo superior. De este modo, cada gas penetró al otro, y se dilató por su fuerza espansiva, para ocupar todo el espacio que se le presentó: duplicando el volúmen, cada uno de ellos adquirió la mitad de la elasticidad, pero la elasticidad total permaneció la misma, es decir, igual á la suma de las elasticidades parciales. Lo que sucede en la mezcla de dos gases, se verifica en la mezcla de un número mayor, y el principio general de la mezcla de los fluidos elásticos es el siguiente: *Cuando se acumulan en un mismo espacio diversos fluidos elásticos, sin accion química entre sí, cada uno de ellos se reparte en toda la estension de este espacio; y la elasticidad de la mezcla es igual á la suma de las elasticidades que tomaría cada uno si estuviera solo.*

»El vapor mezclado con otro fluido elástico, se condensa por dos causas, como el vapor aislado en el vacío, á saber; por un esceso de presion, y por una diminucion de temperatura. Así, estando siempre húmedo el aire atmosférico, sobre todo en las regiones bajas próximas á la tierra, si se toma por ejemplo una litra de aire á 20° de temperatura y á la presion ordinaria de 760 milímetros (esta es la presion media de París, que es 0,76 de metro que equivalen por nuestra tabla anterior á 392,92 líneas españolas), y si el vapor por su parte sufre 10 milímetros (unas cinco líneas españolas) de esta presion, el espacio no se saturará de humedad; pero comprimiendo esta mezcla gaseosa, se aumentará la tension del vapor como tambien la del aire, y crecerán proporcionalmente, hasta que el vapor adquiera su *máxima tension*; entónces si se ejerce mayor compresion, el vapor se condensará en parte, y se depositará en forma de rocío en las paredes del vaso. Del mismo modo, volviendo á tomar la misma litra de aire, si se la enfria en lugar de comprimirla, se vería que tambien se condensaba el vapor y al mismo grado de en-

friamiento que si estuviese solo, y sin mezcla alguna de gas. Generalizando estas consecuencias, se ve, que en un espacio dado, en una litra por ejemplo, se pueden encerrar tantas sustancias gaseosas como se quiera, sin que estas se perjudiquen la una á la otra, solamente se necesitará ejercer una presion igual á la suma de las presiones que cada una pueda sufrir. Y si una mezcla de esta naturaleza estuviese sometida á presiones ó á grados de frio mas y mas intensos, presentaría fenómenos curiosos por la liquidacion sucesiva de los diversos elementos, que se colocarían despues por el órden de su densidad.......

361 Pág. 347 »De la *ebullicion* y de la *evaporacion.* La trasformacion de los líquidos en fluidos elásticos se llama en general *evaporizacion.* Los líquidos se vaporizan por *ebullicion*; es decir, cuando se forman los vapores en lo interior de la masa, y por *evaporacion*; es decir, cuando se forman en la superficie.

»Observando la ebullicion de un líquido, se advierte solo en general un movimiento mas ó ménos rápido que mezcla todas las partes de la masa, y que las agita en todos sentidos; pero escitando la ebullicion en un vaso de cristal, se echa de ver la causa siempre cambiante, que produce los movimientos. Se ven formarse búrbujas de vapor en las paredes calentadas del vaso, que se elevan en razon de su ligereza, y vienen á estallar á la superficie; al principio son pequeñas en el momento de su formacion; pero aumenta su volúmen á medida que se elevan, y las que parten de los puntos mas calientes del vaso, son las que se suceden con mas rapidez. Para que estas búrbujas puedan formarse y elevarse por el medio de la masa líquida que las comprime por todas partes, es preciso evidentemente que el vapor, de que se componen, tenga una tension igual á la presion que sufren; y esto determina los puntos de ebullicion de los diferentes líquidos, y tambien los de uno mismo sometido á presiones diferentes. De este modo, la primera condicion para que se verifique la ebullicion es que la temperatura sea bastante elevada para que la fuerza elástica del vapor pueda vencer todas las presiones que se dejen sentir en la masa líquida. La segunda condicion es, que el vapor halle calórico latente que absorver, y en el grado necesario á su formacion.

»De la primera condicion resulta que todo lo que hace variar la presion del líquido, ó la tension del vapor, hace tambien mudar el punto de ebullicion; y de la segunda, que la rapidez de la ebullicion, depende solamente de la cantidad de calor que se ha comunicado á

las paredes esteriores del vaso en un tiempo dado, y que de ellas puede pasar á las interiores, y despues á la porcion del líquido que se vaporiza. Estas dos consecuencias exigen alguna esplicacion.

362 »*Del punto de ebullicion.* Las causas que pueden hacer variar el punto de ebullicion de un mismo líquido son: 1.ª la presion que se ejerce en su superficie; 2.ª su cohesion; 3.ª la naturaleza del vaso que le contiene; 4.ª la profundidad de su masa; 5.ª las sustancias que pueda tener en disolucion.

1.ª »Al nivel del mar á la presion comun de 760 milímetros (32,74 pulgadas españolas) hierve el agua á 100°. En la cima del Monte Blanco cuya altura es de 4775 metros (17137 pies españoles), y en que la presion atmosférica es próximamente de 417 milímetros (215,6 líneas españolas) el agua debe entrar en ebullicion á la temperatura que corresponda á la tension de 417 milímetros que por la tabla del (§ 359) viene á corresponder á 84° poco mas ó ménos. Si pudiese uno elevarse á mayor altura, la presion sería menor y la ebullicion se verificaría entónces á una temperatura aun mas baja. En general, conocida la tabla de tension del vapor de un líquido, será fácil hallar su punto de ebullicion *á una presion dada*, puesto que siempre será el grado de calor que dé al vapor la máxima tension capaz de vencer esta presion. Recíprocamente se podrá hacer hervir un líquido á una temperatura dada, puesto que siempre bastará disminuir la presion hasta el punto de que sea menor que la tension del líquido para esta temperatura. Por ejemplo, á una presion de 30 milímetros (15,5 líneas españolas) el agua debe hervir á 30°; pues que á esta temperatura, la tension del agua es algo mayor que 30 milímetros; á una presion de 10 milímetros (5 líneas españolas) debe hervir á los 11°; y á una presion de 5 milímetros 2,5 líneas españolas) debe hervir á 0°.

»La variacion del punto de ebullicion ha sido verificada tambien con esperimentos directos, en sitios elevados, en los Alpes, en los Pirinéos y en otras montañas.

»Luego el agua hirviendo no está igualmente caliente en todos los parages de la tierra; y por consiguiente no es propia en igual grado para los usos domésticos, y para la preparacion de los alimentos.

En Quito, por ejemplo, hierve el agua á 90°, y esta temperatura es demasiado baja, para cocer sustancias que deban serlo á 100°. La tabla siguiente contiene puntos de ebullicion del agua en muchos parages habitados cuyas alturas son bien conocidas.

NOMBRES DE LOS LUGARES.	ALTURA SOBRE EL OCEANO expresada en *metros.*	*pies españ.*	ALTURA MEDIA DEL BAROMETRO expresada en *milímet.*	*lin. esp.*	GRADOS de ebullicion del agua. *grados.*
Alquería de Antisana.	4101	14718	454	235	86,3
Ciudad de Micuipampa (Perú).	3618	12985	483	250	87,9
Ciudad de Quito.	2908	10437	527	272	90,1
Ciudad de Caxamarca (Perú).	2860	10264	531	275	90,3
Santa Fé de Bogotá.	2661	9550	544	281	90,9
Ciudad de Cuenca (provincia de Quito).	2633	9450	546	282	91,0
Méjico.	2277	8172	572	296	92,3
Hospicio de S. Gotardo.	2075	7447	586	303	92,9
Aldéa de S. Veran (Alpes marítimos).	2040	7321	588	304	93,0
Aldéa de Brevil (valle del monte Cerimo).	2007	7203	591	306	93,1
Aldéa de Maurin (Bajos Alpes).	1902	6826	599	310	93,5
Aldéa de S. Remi.	1604	5757	621	321	94,5
Aldéa de Heas (Pirineos).	1465	5258	632	327	94,9
Aldéa de Gavarnie (id.).	1444	5182	634	328	95,0
Brianzon.	1306	4687	645	333	95,5
Aldéa de Barége (Pirineos).	1269	4554	648	335	95,6
Palacio de S. Ildefonso (España).	1155	4145	657	340	96,0
Baños del Monte de Oro (Auvernia).	1040	3732	667	345	96,5
Pontarlier.	828	2972	685	354	97,1
Madrid.	608	2182	704	364	97,8
Inspruch.	566	2031	708	366	98,0
Munich.	538	1931	710	367	98,1
Lausana.	507	1820	713	369	98,3
Augsburgo.	475	1705	716	370	98,4
Salzburgo.	452	1622	718	371	98,4
Neufchatel.	438	1572	719	372	98,5
Plombières.	421	1511	721	373	98,5
Clermond-Ferrand (Prefectura).	411	1475	722	373	98,5
Ginebra y Freiberg.	372	1335	725	375	98,6
Ulma.	369	1324	726	375	98,7
Ratisbona.	362	1299	726	375	98,7
Moscou.	300	1077	732	378	99,0
Gotha.	285	1023	733	379	99,0
Turin.	230	825	738	382	99,1
Dijon.	217	779	740	383	99,2
Praga.	179	642	743	384	99,3
Macon (Saone).	168	603	744	385	99,4
Lion (Ródano).	162	581	745	385	99,4
Cassel.	158	567	745	385	99,4
Gotinga.	134	482	747	386	99,5
Viena (Danubio).	133	477	747	386	99,5
Milan (Jardin botánico).	128	459	748	387	99,5
Bolonia.	121	434	749	387	99,5
Parma.	93	334	751	388	99,6
Dresde.	90	323	752	389	99,6
París (Observatorio Real, primer piso).	65	233	754	390	99,7
Roma (Capitolio).	46	165	756	391	99,8
Berlin.	40	144	756	391	99,8

»Esperimentando el barómetro en un mismo parage contínuas variaciones, resulta de aquí que el punto de ebullicion varía en cada instante. En París las alturas estremas del barómetro observadas de diez años á esta parte, habiendo sido de 719 y 781 milímetros (372 y 404 líneas españolas), se ve que el mas alto grado de ebullicion correspondiente á 781 milímetros, ha sido como de 100°, 8, y el mas bajo correspondiente á 719 de 98°,5 poco mas ó ménos. Es fácil ver cuanta consideracion se debe tener con la altura del barómetro al señalar el punto de ebullicion en la escala de un termómetro.

»El reverendo F. J. H. Wollaston ha construido un termómetro muy sensible, que señala únicamente los grados que se aproximan al de ebullicion, y por su medio puede uno asegurarse de la diferencia de temperatura entre el agua que hierve en un piso, y y la que hierve en otro que está encima. Su construccion exige muchas precauciones, pero lo esencial es, que cada grado ocupe en él una longitud de 30 milímetros lo ménos (15,5 líneas españolas).

»Cuando la presion se aumenta en lugar de disminuirla, se atrasa la ebullicion, y se la puede retardar indefinidamente aumentando del mismo modo la presion. Así, en el aparato tan conocido con el nombre de *marmita ó digestor de Papin*, se puede elevar el agua á las mas altas temperaturas, sin hacerla hervir.

»El digestor fué inventado por Papin como á la mitad del siglo XVII; entónces sirvió para una multitud de esperimentos curiosos, ya para manifestar la potencia mecánica del vapor, ya para dar á conocer la potencia disolvente del agua, mantenida líquida á temperaturas mas elevadas que 100°. Entónces se vió con gran admiracion la posibilidad de estraer de los huesos una sustancia nutritiva tan buena y casi tan abundante como la que se saca de las partes musculares mas suculentas.

»Si el agua no está herméticamente encerrada en una caldera, y halla alguna salida por donde pueda escaparse el vapor, el punto de ebullicion depende entónces de la magnitud de la abertura, comparada con la superficie del agua que recibe la accion del fuego; hé aquí una tabla de las temperaturas aproximadas que puede tomar el agua en estas circunstancias, á la presion ordinaria.

Temperatura que toma el agua en la caldera.	Relacion de la superficie del orificio á la del agua que recibe el fuego.
100°.	$\frac{1}{1000}$ y mas
105.	$\frac{1}{5000}$
115.	$\frac{1}{10000}$
138.	$\frac{1}{20000}$.

» Parece que en el mismo tiempo, la cantidad de vapor que sale de cada abertura es la misma poco mas ó ménos. Así en 1′, el peso de agua vaporizada que sale de una caldera enteramente abierta á 100° de temperatura, sería casi el mismo que el peso del agua vaporizada que saliere de la misma caldera á 138°, por una abertura cuya superficie fuese $\frac{1}{20000}$ de la del agua que recibe el fuego.

2.ª » *La cohesion del líquido* puede tener una influencia para modificar este principio, que *á la temperatura de la ebullicion la fuerza elástica del vapor es igual á la presion del aire.* En efecto, las burbujitas de vapor, no pudiendo formarse sin separar de sí las moléculas que las rodean, se concibe bien, que en su orígen, tienen que romper la cohesion del líquido y vencer la presion esterior. Pero si la cohesion es una resistencia sensible, será preciso que la fuerza elástica del vapor sea capaz de influir sobre estas dos fuerzas reunidas, es decir, que sea mayor que la presion, en toda la fuerza que resulta de la cohesion. Pero formadas ya las búrbujas, se minora el efecto de la cohesion, y el vapor esperimenta una especie de detenimiento que aumenta repentinamente su volúmen. Así, por esta causa se retarda la ebullicion, y se ve ademas en precision de hacerse por brincos y con movimientos estrepitosos é interrumpidos.

3.ª » *La naturaleza del vaso*, tiene una influencia, en el punto de ebullicion. *Mr. Gay-Lussac* ha observado que el agua por ejemplo, hierve mas tarde en el vidrio que en el metal; y atribuyé la causa de esto, á la accion molecular que se ejerce entónces entre el sólido y el líquido, accion que es enteramente semejante á la cohesion, y que produce resultados análogos. Una varilla metálica sumergida en el líquido ó metal en polvo, puesto en el fondo de un vaso de cristal, bastan para determinar el punto de ebullicion á lo que sería en un vaso de metal. Esta precaucion remedia tambien otro inconveniente, á saber, los sacudimientos y brincos, que echan fuera el líquido, y que muchas veces hacen romper el vaso.

4.ª » En una masa líquida muy profunda, ademas de la presion

que se ejerce en la superficie, las moléculas del fondo sufren todavia la presion debida á la capa líquida superior. Así, en una caldera llena de agua, de treinta y dos pies de profundidad, las capas del fondo sufren dos atmósferas, y por consiguiente las búrbujas de vapor no pueden formarse en ella, á ménos que la temperatura no sea de 121°; este es, pues, el punto de ebullicion del agua á esta profundidad. Pero las capas superficiales no pudiendo tener sinó 100° de temperatura, sucede que las capas del fondo se elevan sin cesar, en virtud de su dilatacion, forman búrbujas á causa de la diminucion de presion y por consiguiente se enfrian, y pasan sucesivamente por todas las temperaturas desde 121° hasta 100°. En los vasos que solo tienen algunas pulgadas de profundidad, se produce un fenómeno análogo, ántes de principiar la ebullicion. Las capas del fondo roban á las paredes del vaso bastante calor para vaporizarse; las burbujitas se forman y suben, pero ganando las capas superiores que están aun demasiado frias, se condensan repentinamente. De aquí nace aquel ruido singular que precede algunos instantes á la ebullicion de los líquidos. Se asegura uno de esto con facilidad haciendo el esperimento en globos de vidrio, porque se ven formar las búrbujas, elevarse un poco, y desaparecer enteramente.

5.ª »El punto de ebullicion de un líquido no sufre mudanza por tener en suspension mecánicamente en su masa cuerpos estraños, como partículas de arena en el agua. Pero muda siempre que los cuerpos están químicamente combinados con la sustancia. Todas las sales solubles, por ejemplo, retardan el punto de ebullicion del agua; y un fenómeno digno de observarse es, que el vapor que dan estas disoluciones, es vapor de agua perfectamente puro, sin rastro alguno de las sustancias disueltas. He aquí los puntos de ebullicion de algunas disoluciones saturadas

Sal comun.	109°
Muriato de amoniaco. . . .	114,4
Nitro.	115,6
Tartrato de potasa . . . ,	116,7
Nitrato de amoniaco. . . .	125,3
Subcarbonato de potasa. .	140,0.

»Así, en la disolucion de sal comun, por ejemplo, el vapor que se forma durante la ebullicion, lo hace á 109° y á la presion de 760 milímetros (392,768 lin. españolas); resulta de aquí una propiedad útil muchas veces en las artes, y es, que con vapor de agua

á 100°, se puede producir una temperatura mucho mas elevada que 100°; porque si se hace llegar una corriente de vapor de agua á una disolucion de subcarbonato de potasa á 100°, el vapor se condensará allí, y depositará en él su calórico latente, hasta que la temperatura de la disolucion llegue á 140°, puesto que solo á este término la fuerza elástica del vapor que llega podrá ser contrabalanceada y detenida por la fuerza elástica del vapor que se desprende.

»Cuando un líquido se ha combinado con otro mas ó ménos volátil que él, hay todavía mudanza en el punto de ebullicion; pero entónces el vapor que se forma es una mezcla en diversas proporciones, de los vapores de los dos líquidos. Así, el alcool adelanta el punto de ebullicion del agua; el ácido sulfúrico le retarda; y en ambos casos los vapores se mezclan simplemente, aunque los líquidos se hallan combinados químicamente.

363 »*De la rapidez de la ebullicion.* La cantidad de vapor formada por ebullicion depende de la cantidad de calor que recibe el líquido en un tiempo dado; esta cantidad de calor depende 1.° de la actividad del hogar; 2.° de la naturaleza y espesor de las paredes de la caldera; 3° de la estension de la superficie líquida que recibe la accion del fuego.

1.° »La actividad del hogar depende de la disposion del horno y particularmente de la naturaleza del combustible; porque la leña, el carbon, la turba, la hornaguera ó carbon de piedra, y la antracita no dan, á igualdad de peso, la misma cantidad de calor, y no son tampoco capaces de producir la misma temperatura.

2.° »La superficie esterior de la caldera puede ser mas ó ménos propia para recibir la accion del fuego, y para absorver el calor; y tambien se verifica que la naturaleza de las paredes y su espesor tienen considerable influencia en la cantidad de calor que puede atravesarlas en un tiempo dado.

3.° »El agua que recibe la accion del fuego, es la que toca á las paredes calentadas de la caldera; y si cada parte de dichas paredes suministra la misma cantidad de calor, es evidente que el agua vaporizada, en un tiempo dado, es proporcional á la estension de la caldera que puede tocar la llama. Esto es lo que han confirmado algunos esperimentos, cuya precision al ménos es suficiente para la práctica: parece que en las circunstancias mas favorables, con un fuego tan intenso como sea posible, cada centímetro cuadrado (26,7 lin. cuadradas españolas) de la superficie caliente del líquido, puede vaporizar diez gramas (200,3 granos del marco español) en una

hora, ó cada metro cuadrado (12,88 pies cuadrados españoles) 100 quilógramas ó 100 litras (49,58 azumbres españolas); pero siendo el fuego, en el uso comun, ménos intenso y ménos sostenido, solo se obtiene en una hora la mitad ó el tercio de este resultado, es decir, de 4 á 5 gramas (de 80 á 100 granos españoles) próximamente por centímetro cuadrado (26,7 lin. españolas cuadradas) ó de 40 á 50 litras (de 19,83 á 24,79 azumbres españolas) por metro cuadrado (12,88 pies cuadrados). Se deja bien conocer cuan importante es este dato en las artes; puesto que por él, se pueden determinar de antemano las dimensiones que deben darse á las calderas de vapor. Se sabrá por ejemplo que si una caldera debe vaporizar 500 litras de agua (247,9 azumbres españolas) cada hora, es preciso colocarla en el horno, de modo que 10 metros cuadrados (128,8 pies españoles cuadrados) de la superficie lo ménos, estén directamente en contacto con la llama.

Tabla de los puntos de ebullicion de diversos líquidos.

	Grados.
Eter sulfúrico.	37,8 Gay-Lussac.
Azufre carbonado.	47,0 idem.
Alcohol.	79,7 idem.
Disolucion saturada de sulfato de sosa.	100,7 Biot.
Disolucion de acetato de plomo.	102 idem.
Disolucion de muriato de sosa.	106,9 idem.
Aceite de trementina.	157
Fósforo.	290
Azufre.	299
Ácido sulfúrico.	310
Aceite de linaza.	316
Mercurio.	350

364 Pág. 359 » *De la evaporacion.* La evaporacion es la formacion del vapor en la superficie libre de los líquidos, mientras que la ebullicion es, como acabamos de ver, la formacion del vapor en el seno de la masa. El agua se evapora en la superficie de los rios, lagos y mares; se evapora en la superficie de la tierra, en el suelo y en las plantas, y es evidente que entónces no tiene fuerza elástica capaz de vencer la presion del aire. Así, las observaciones mas comunes nos hacen ver, que el vapor se forma en el agua á toda temperatura, y que se exhala en el aire con las mas débiles tensiones.

Al principio se había creido ser necesaria una afinidad química, entre las moléculas de aire y de vapor, para la produccion de este fenómeno; pero hemos visto que no hay necesidad alguna de recurrir á las fuerzas químicas; el vapor, por débil que sea su tension, se mezcla con el aire, como lo harían dos gases entre sí. La única condicion para que un líquido se evapore es pues que las capas de aire que le rodean no se hallen saturadas de vapor; y como en la mezcla de dos gases sucede que las moléculas del uno son un obstáculo mecánico á la difusion de las moléculas del otro, tambien sucede en la evaporacion, que el aire opone una resistencia á la difusion del vapor. Así en una atmósfera en perfecta calma, la evaporacion es lenta; y al contrario, en una que esté agitada, es cada vez mas rápida, á causa de que las capas no saturadas se ponen sin cesar en contacto con el líquido. Un viento seco, animado de una velocidad infinita, soplando en la superficie de un lago, produciría en él una evaporacion tan instantánea, como la que se verificase en un vacío infinito; porque las moléculas de vapor serían trasportadas tan velozmente que no podrían ejercer presion alguna sobre las moléculas de agua, para impedirlas el vaporizarse á su vez.

»La rapidez de la evaporacion no depende solo de la agitacion del aire; sinó tambien de la tension del vapor, ó mas bien de la diferencia que existe entre la tension del vapor que se forma, y el existente ya en el aire. Resulta de los esperimentos de *Dalton* sobre este objeto, que la cantidad de líquido, que puede vaporizarse en un tiempo dado, es siempre proporcional á esta diferencia de tension. Así, en un aire perfectamente seco á 11° de temperatura, se vaporiza, á igualdad de superficie, tanta agua poco mas ó ménos como pudiera vaporizarse á 30° en un aire húmedo, que contuviese vapor á 20 milímetros (una línea española) de tension.

»Apenas es necesario observar que á igualdad de todas las demas circunstancias, la cantidad de agua que se evapora en un tiempo dado, es proporcional á la estension de la superficie sobre la cual toma principio el vapor.

»Los demas líquidos se evaporan al aire libre, siguiendo los mismos principios que el agua; solamente se puede decir, que respecto de ellos, la rapidez de la evaporacion es proporcional á la tension del vapor; porque, en general, cuando se vaporizan, no hay en el aire vapor preexistente que pese sobre la superficie líquida, y retarde la evaporacion.

365 »*Del frio producido por la vaporizacion.* Cuando un

líquido está en ebullicion al aire libre, conserva una temperatura fija; porque recibe del hogar, por las paredes del vaso tanto calórico como absorve el vapor para formarse; cuando la ebullicion se efectúa bajo el recipiente de la máquina neumática, la temperatura disminuye gradualmente, porque entónces el vapor debe robar á la masa líquida y á los cuerpos cercanos, el calórico latente necesario para su formacion.

366 »*Congelacion del agua en el vacío.* Se pone bajo el recipiente de la máquina neumática un vaso de cristal ancho, con ácido sulfúrico; algunas pulgadas mas arriba se pone una cápsula de metal de poco grueso y muy ensanchada, con algunas gotas de agua; comunmente esta cápsula está colgada de tres hilos ó tres cintas ó bandas de metal muy finas, que se ajustan en los bordes del vaso de cristal. Al cabo de algunas emboladas, entra el agua en ebullicion; continuando haciendo el vacío, cesa; y cuando el vacío se ha hecho tan completo como es posible, á pocos instantes aparecen en la cápsula agujas de hielo, y despues, toda el agua que contiene forma una masa sólida. Este esperimento curioso lo debemos á *Leslie.* El ácido sulfúrico absorve el vapor de agua á medida que se forma, y determina de este modo una evaporacion mas pronta. Todo cuerpo que tenga una gran facultad absorvente, produce el mismo efecto; la harina de avena, tostada algun tanto es muy adecuada para este objeto. La cápsula es muy delgada, porque debe participar del enfriamiento, y se la aisla de los cuerpos vecinos, para que no reciba calor de ellos. Se ha empleado este procedimiento con algunas modificaciones para fabricar el hielo en Londres, pero con poco éxito......

»El frio que se deja sentir en la mano cuando caen en ella algunas gotas de un líquido volátil, y en general, el observado en la superficie de los cuerpos húmedos, son fenómenos procedentes de la misma causa.

»Las *alcarrazas*, usadas en España y en otras naciones, para refrescar el agua, y las bebidas espirituosas, son vasos porosos que presentan á la evaporacion, una gran superficie húmeda. El líquido interior se filtra al través de las paredes; se evapora prontamente en un aire algo agitado; y renovándose sin cesar esta accion, el vaso y el líquido contenido en él, se mantienen en virtud de esto á una temperatura de 10°, 15° ó 20° inferior á la temperatura ambiente.

»Por una razon semejante, las plantas deben estar en general, á una temperatura mas baja que la del aire, porque sus tejidos esteriores, hacen mas ó ménos el oficio de alcarrazas.

»La traspiracion abundante, y la exhalacion que sin cesar se efectúa en los cuerpos vivos, son igualmente una causa de enfriamiento; verémos en lo sucesivo, al hablar del calor animal, que la sangre de los animales de sangre caliente tiene una temperatura fija, que no puede subir ni bajar sin los mas graves inconvenientes, y que no puede variar algunos grados sin seguirse la muerte. En cuanto al hombre, cualquiera que sea el clima donde habite, esta temperatura es fija y de 37°. Así, bajo la Zona tórrida, donde el aire llega muchas veces á 50° de temperatura, viven los hombres en esta atmósfera abrasadora sin participar de su temperatura; la actividad de la traspiracion está proporcionada sin cesar á la energía del calor, y estas causas contrarias se contrapesan con tanta armonía, que la sangre de un negro está casi á 37° como la sangre de un lapon.

367 Pág. 364 »*De la comunicacion del calórico. De la conductibilidad.* Esta es una propiedad de que gozan los cuerpos, de absorver el calor y repartirlo en su masa. Se distingue la *conductibilidad esterior* ó la *penetrabilidad*, y *conductibilidad propia* ó *la permeabilidad.* En virtud de su penetrabilidad, un cuerpo deja el calórico pasar de su superficie á la de un cuerpo contiguo, ó *viceversa*; por su *permeabilidad* deja pasar el calórico de un punto á otro de su masa. Por ejemplo, sumergida una barra de fierro por uno de sus estremos en un baño de plomo fundido, se sabe que el calor se va comunicando poco á poco en toda la longitud de la barra; y al fin se deja sentir hasta una gran distancia. Pero la cantidad de calor que entra por una estension dada de la parte sumergida depende de la penetrabilidad, y la que pasa de una seccion á la siguiente depende de la penetrabilidad y de la permeabilidad, por depender de las pérdidas que se verifican en lo esterior por la superficie libre, y de la facilidad con que se propaga el calórico de una molécula de fierro á la siguiente.

368 »*Conductibilidad de los cuerpos sólidos.* Cuando una barra prismática muy larga se sumerge en un baño de calor por uno de sus estremos, todas sus secciones diversamente remotas del baño, toman sobre el aire que las rodeá temperaturas diferentes; y establecido el equilibrio, teniendo cada una el calor que debe conservar, se verifica la notable ley de que *aumentando en progresion aritmética las distancias al baño, disminuyen los escesos de temperatura en progresion geométrica.* Esta ley solo se ha verificado en temperaturas no muy elevadas. Para comparar las conductibilidades propias de las diversas sustancias, se tiene costumbre de revestirlas de algu-

nas capas de barniz, á fin de darles la misma penetrabilidad; pero aun con estas precauciones no se consigue el objeto sinó imperfectamente; de modo que las relaciones de conductibilidad propia, que se llegan á obtener, no son sinó aproximaciones. Esta es la idéa que se debe fijar á los números contenidos en la siguiente tabla:

Oro.	2004
Plata.	1950
Cobre.	1800
Fierro.	750
Zinc.	729
Estaño.	609
Plomo.	360
Mármol.	47
Porcelana.	24
Tierra de hornos. . . .	23

Con todo, estos números bastan para manifestar que, entre los diferentes cuerpos, hay una prodigiosa diferencia de conductibilidad propia. Los metales son *muy buenos conductores* respecto de los demas cuerpos, y entre ellos ocupa el primer lugar el oro, y el último el plomo. Entre los *malos conductores*, el vidrio y particularmente el carbon, parecen los peores.....

»Todos los cuerpos reducidos á filamentos muy finos ó á partículas muy pequeñas son malos conductores; así, el polvo de carbon, el ladrillo molido, la arena, el vidrio en polvo retienen muy bien el calor, del mismo modo que la lana, la seda, las plumas, &c.

369 »*Conductibilidad de los líquidos*. Las mudanzas de densidad que acompañan á las de temperaturas, producen en los líquidos movimientos contínuos que mezclan todas sus partes; al instante que algunas moléculas de la masa vienen á ser mas densas ó mas ligeras, caen ó se elevan; y todas las moléculas que encuentran, participan mas ó ménos de sus temperaturas y de sus movimientos. Estos fenómenos interiores de las masas líquidas pueden hacerse sensibles con el esperimento siguiente: se mezclan en el agua partecillas visibles, de la misma densidad que ella sobre poco mas ó ménos, por ejemplo, serrin de roble ó de boj; y despues se hace calentar ó enfriar en una campana de paredes delgadas (fig. 53 lám. 3.ª)

»Siendo de 15 á 20 grados la temperatura ambiente, el enfriamiento de la parte inferior determina corrientes descendentes con-

tra las paredes; y en el medio de la masa una corriente ascendente; el enfriamiento de la parte superior producirá el mismo efecto. Al contrario, el calentamiento de la parte inferior produce corrientes ascendentes contra las paredes y una corriente descendente en el medio. Toda la masa participa bien pronto de la depresion ó elevacion de temperatura y se deduce que es mas bien por mezcla que por conductibilidad. Sin embargo, si se calienta la masa por arriba, las moléculas recalentadas teniendo el lugar que conviene á su densidad, ningun movimiento se manifiesta, y entónces la cuestion de la conductibilidad se reduce á saber si en este caso la capa superior sola se recalienta, ó si el calor se propaga de capa en capa á través de las moléculas inmóviles del líquido. . . .

370 Pág. 368 »*Conductibilidad de los gases*. Siendo los gases mas dilatables aun y mas móviles que los líquidos, se concibe con facilidad la mudanza de temperatura en algunos puntos de su masa, producen en ella corrientes mas numerosas y movimientos mas rápidos. Así, la conductibilidad de los gases es aun mas difícil de observar que la de los líquidos; sin embargo, todos los esperimentos están acordes en manifestar que es tambien muy débil, y que el calor no pasa sinó muy lentamente de molécula á molécula en las capas que están en reposo.

»Esta propiedad es útil en las Artes: para conservar el calor en un recinto, ó para impedirle penetrar en él, basta hacer dos cubiertas entre las cuales se encierre herméticamente una capa de aire de una ó dos pulgadas de grueso, cuyos movimientos se entorpecen por algunos dobleces de paja ó por alguna otra sustancia filamentosa.

371 Pág. 369 »*Del calórico radiante. De la existencia del calórico radiante y de la idéa que se puede uno formar de los rayos caloríficos*. El calórico radiante es el que pasa á través de ciertos cuerpos, como lo hace la luz á través de los cuerpos diáfanos. El calor solar no viene á la tierra sinó despues de haber atravesado toda la capa atmosférica; y si el aire se calienta en un dia sereno, todos saben que los cuerpos se calientan tambien por los rayos del sol, y que en general su temperatura es mucho mas elevada que la del aire. Luego una parte del calor del sol atraviesa como la luz todo el espesor de la atmósfera sin ser absorvido. Del mismo modo, el fuego de un hogar nos calienta estando nosotros á cierta distancia, sin que las capas de aire que nos separan de él se calienten sucesivamente; pues se percibe con facilidad que permanecen frias y aun que pueden agitarse y renovarse rápidamente sin que á la misma

distancia se deje sentir el mas mínimo efecto. Una bala enrojecida al fuego, suspendida en medio de un aposento es aun mas propia para manifestar este fenómeno: de todas partes al rededor de ella se recibe una impresion de calor, miéntras que el aire ambiente, que no la toca, conserva sobre poco mas ó ménos su estado de reposo y su temperatura primitiva. Así, los cuerpos que están calentados hasta el punto de producir luz, tienen al mismo tiempo la propiedad de emitir al rededor de ellos, en todas direcciones, calórico que pasa al través del aire, como la luz á través de los cuerpos diáfanos. En virtud de esta analogía es como se dice hablando del calor, *rayos caloríficos*, *rayos de calórico*, *ó rayos de calor*, así como, al hablar de la luz, se dice, *rayos luminosos*, *ó rayos de luz*.

Pág. 371 »El hielo mismo y los cuerpos mas frios que el hielo gozan tambien de esta propiedad funtamental (del calor radiante). Así, todo cuerpo, cualquiera que sea, es, con relacion al calor, lo que una bugía inflamada es con relacion á la luz: de todos los puntos de la llama parten rayos luminosos que se difunden á lo léjos en el espacio; igualmente, de todos los puntos de un cuerpo cualquiera parten rayos de calor que atraviesan el aire, y se propagan libremente, hasta que encuentran algunos cuerpos que los detienen.

Pág. 374 »Pues que el *calor oscuro* se propaga por radiacion como el *calor luminoso*, es probable tambien que se refleje como él... verificándose que los *poderes radiantes son entre sí como los excesos de temperatura de la bola focal*. Así, la cara pulimentada dando á esta bola un esceso de temperatura de 1°, y la cara no pulimentada un esceso de 3°, el poder radiante de esta es tres veces tan grande como el poder radiante de la primera.

Pág. 377 »Para comparar los poderes radiantes de los diferentes cuerpos, se puede uno servir de un cubo semejante al anterior de caras laterales muy delgadas, y sucesivamente recubiertas de sustancias diferentes: vidrio, papel blanco, ó de diversos colores, hollin &c. Todas estas sustancias deben formar por sí mismas capas poco espesas para que sus superficies sean exactamente mantenidas á la temperatura del agua interior. Representando por 100 el poder radiante del negro de humo, que es el mayor que se observa, los poderes radiantes de las otras sustancias se hallarán proporcionalmente representados por números mas pequeños, como se vé en la tabla siguiente:

Negro de humo.	100
Agua.	100
Papel de escribir.	98
Crownglass.	90
Tinta de china.	88
Agua helada.	85
Mercurio.	20
Plomo brillante.	19
Fierro pulimentado.	15
Estaño, plata, cobre, oro.	12

»Cuando se humedece ligeramente con algun líquido, como aceite, agua, &c., una superficie metálica pulimentada, su poder emisivo se aumenta inmediatamente en una gran proporcion; una capa estremamente delgada de barniz produce un efecto análogo; y lo que es muy notable, es que, una segunda capa aumenta este efecto; igualmente una tercera, y así sucesivamente hasta un cierto límite de espesor. Resulta de aquí, que los rayos de calor no parten solamente de la superficie matemática de los cuerpos; sinó que parten tambien de las capas interiores, hasta una profundidad sensible debajo de esta superficie.

372 Pág. 382 »*De la transmision del calórico radiante.* El calórico radiante no solo pasa libremente al través del aire, sinó que pasa aun del mismo modo á través del agua, del vidrio, y de la mayor, parte de los cuerpos diáfanos......Sin embargo, sufriendo la luz misma alguna absorcion en los cuerpos mas trasparentes, se puede concluir por analogía, y verificar tambien por esperiencia, que el calor radiante es absorvido en parte, cualquiera que sea el medio que atraviese.

373 Pág. 384 »*De las leyes del enfriamiento.* Los mas hábiles Físicos han hecho esperimentos y observaciones matemáticas sobre el enfriamiento de los cuerpos desde *Newton*, que es el primero que ha establecido algunos principios sobre esta materia. Sin embargo, la cuestion quedaba aun envuelta en dificultades insuperables, y no se habían dado sinó algunos pasos inciertos hácia su solucion, cuando *MMrs. Dulong y Petit* han llegado á resolverla de una manera completa. Su trabajo, premiado por la Academia de las Ciencias en 1818, es un modelo de exactitud y de invencion, que los jóvenes Físicos

no pueden ménos de estudiar con esmero. Vamos á dar aquí un estracto muy abreviado de dicho trabajo.

"*Ley de enfriamiento en el vacío.* Un cuerpo aislado en un recinto vacío, no puede calentarse ni enfriarse sinó por el cambio del calor radiante, que se verifica entre su superficie y la del recinto. Si este cuerpo es sólido, su naturaleza, el estado de su superficie, su magnitud, su forma, y la conductibilidad de su sustancia, tendrán una influencia en los resultados; si es líquido, la mezcla que se hace por las corrientes conserva toda la masa á la misma temperatura, desaparece la influencia de la conductibilidad, y ya no hay que considerar la naturaleza del líquido, la superficie del vaso, su forma y magnitud. Mas para distinguir lo que pertenece á cada uno de estos elementos, es necesario saber lo que se llama *velocidad del enfriamiento y ley del enfriamiento.*

» Cuando un cuerpo está mas caliente que las paredes del recinto en que se halla colocado, su temperatura disminuye á medida que el tiempo pasa; y su velocidad de enfriamiento, en un instante dado, es la relacion que existe entre la depresion de temperatura y la duracion de este instante.

» Así, cuando un cuerpo es mucho mas caliente que el recinto, y cuando su depresion de temperatura es por ejemplo, de 10° en 1'', su velocidad de enfriamiento, es dupla de lo que será, cuando despues de haberse enfriado cada vez mas, llegue á perder solo 5° en 1''. Desde el primer instante del enfriamiento hasta el último la velocidad es variable y siempre decreciente; y se llama *ley de enfriamiento, la correspondencia que existe entre todas estas velocidades sucesivas.* Resulta de aquí, que para dos cuerpos dados, las velocidades del enfriamiento pueden ser muy diferentes, permaneciendo la misma ley del enfriamiento: porque basta para esto, que las velocidades correspondientes á los mismos instantes, tengan entre sí las mismas relaciones. *MMrs. Dulong* y *Petit*, se han cerciorado con numerosos esperimentos de ser siempre la misma la ley del enfriamiento de los líquidos, y no depender de la naturaleza, ni del volúmen del líquido; ni de la forma, ni de la superficie del vaso; ni de la magnitud del poder radiante del recinto. Esta ley general del enfriamiento estriba en los principios siguientes:

1.° » Cuando un cuerpo está en equilibrio de temperatura en un recinto sin poder reflectente cuya temperatura es constante, la velocidad de su enfriamiento es igual á la velocidad del calentamiento que el recinto propende á comunicarle.

2.º »La *velocidad absoluta* del enfriamiento de un cuerpo (es decir, la que tendría, si no recibiese ningun rayo para compensar sus pérdidas) aumenta en progresion geométrica, cuando la temperatura de este cuerpo lo verifica en progresion aritmética.

374 Pág. 387 »Ley del *enfriamiento en los gases*. Un cuerpo que se enfria en un recinto lleno de gas, lo verifica en virtud de dos causas; 1.ª por la radiacion; 2.ª por el contacto del gas. Pero el primer resultado notable, es que la presencia del gas no modifica en modo alguno los cambios de calor que se hacen por radiacion; de donde resulta, que, conocido el enfriamiento total, que esperimenta un cuerpo sumergido en un gas, basta que de él se reste el enfriamiento que esperimenta este cuerpo en el vacío, para tener la parte del enfriamiento debida al contacto solo del gas.

»Los fluidos elásticos sometidos á la esperiencia son; el aire, el gas hidrógeno, el ácido carbónico y el gas oleificante; he equí las leyes generales de sus poderes enfriantes.

1.ª »Las pérdidas de calor debidas al contacto de un gas son, á igualdad de todo lo demas, independientes del estado de la superficie del cuerpo que se enfria.

2.ª »Las pérdidas de calor debidas al contacto de un gas crecen con los escesos de temperatura segun una ley que es la misma, cualquiera que sea la elasticidad del gas.

3.ª »Para una misma diferencia de temperatura, el poder enfriante de un mismo gas, varía en progresion geométrica, cuando su fuerza elástica varía en progresion geométrica; y si se supone la razon de esta segunda progresion igual á 2, la razon de la primera será 1,366 para el aire; 1,301 para el hidrógeno; 1,431 para el ácido carbónico; y 1,415 para el gas oleificante.

»Las propiedades del calórico radiante, y las leyes del enfriamiento en el vacío, y en los gases, tienen sus aplicaciones en una multitud de fenómenos naturales. Verémos en los Elementos de *Meteorología*, que partiendo de estos principios, pueden esplicarse la escarcha, el hielo, y el rocío; que se puede dar razon de las temperaturas de la tierra en diversas latitudes, de la temperatura de las aguas, y de las diferentes regiones del aire; y que por último, puede medirse con exactitud la cantidad total de calor, que el sol envía á la tierra cada año.

375 Tomo 2.º Parte I. de la misma obra de *Mr. Pouillet* impreso en París año de 1829.

Pág. 22 »*Absorcion y filtracion.* La accion absorvente que

ejercen los cuerpos porosos en los líquidos que los pueden mojar, es evidentemente una accion capilar; todos sus pequeños intersticios son análogos á tubos mas ó ménos finos; sus paredes se revisten primeramente de una capa líquida, y esta capa obra despues para atraer el líquido inmediato en virtud de su densidad, y para retenerle en virtud de su cohesion. La rapidez de la absorcion depende, en general, de la forma y magnitud de los poros del cuerpo absorvente, de la atraccion que por su naturaleza ejerce sobre el aire de que está impregnado, de la que ejerce sobre el líquido, y últimamente de la que ejerce el líquido sobre sí mismo: siendo porosos todos los cuerpos, parece que todos ellos deben ser absorventes.

»La filtracion del agua á través de las *piedras de filtrar*, ó á través de la arena y del carbon, la de los licores espirituosos á través de los papeles sin cola, y la de muchos líquidos á través de los tejidos de lana ó de algodon, son otros tantos ejemplos de la absorcion que ejercen ciertos cuerpos en varios líquidos. Porque un filtro no obra como una criba para detener solamente las partecillas que son mas gruesas, sinó que se moja por la capilaridad, trasmite el líquido independientemente de la presion, y todas las gotas que pasan han estado sometidas constantemente en su tránsito sinuoso á una atraccion mas ó ménos considerable.

376 Pág. 24 »*Absorcion en los vegetales.* La savia se difunde en todas las partes de la planta, desde el estremo de las raices hasta la punta de las ramas ó de las hojas mas elevadas: esta difusion del jugo nutritivo por intersticios mas ó ménos delicados y frecuentemente aun por tubos de un diámetro sensible, es un fenómeno que presenta necesariamente algunas analogías con los fenómenos capilares. Por esta causa referirémos aquí los resultados de los esperimentos mas notables hechos sobre esta materia; los estractarémos particularmente de la *Estática de los vegetales* de *Hales*, obra que aun despues de un siglo de publicada, es no solamente un modelo de sagacidad y precision, sinó tambien una de las recopilaciones mas completas sobre este punto importante de la *Fisiología vegetal.*

»Para encontrar la cantidad de agua absorvida y evaporada por diversas plantas, Hales se servía del aparato siguiente: p' (fig. 54 lám. 3.ª) es un tiesto ó una maceta de tierra sin abertura en el fondo; ll' lámina de plomo, en dos partes soldadas con un betun de cera y de trementina al rededor del tiesto y en el diámetro de reunion; o abertura para dejar pasar el vástago; t tubo para regar y dejar salir ó entrar el aire.

»Regando y pesando la planta por mañana y tarde se puede ver fácilmente lo que absorve y lo que ella pierde en un dia. La pérdida se hace en toda su superficie, y basta un cálculo muy sencillo para encontrar el espesor de la capa de agua que se evapora en la unidad de superficie y aun para concluir la velocidad con que el líquido se eleva por el tallo. He aquí la tabla de los principales resultados.

NOMBRES de las plantas.	Cantidad de agua absorvida en 12 horas del dia valuada en pulg.s cúbicas.	Seccion del tallo en pulgadas cuadradas.	Velocidad del líquido en el tallo, ó núm.º de pulg.s que corre en una hora.
Girasol.	36	1	3
Col.	32	$\frac{2}{3}$	4
Vid.	9	$\frac{1}{4}$	3
Manzano. . . .	15	$\frac{1}{4}$	5
Limonero. . .	10	1	$\frac{5}{6}$

»La cuarta columna indica la velocidad con que el líquido se eleva en el tallo, suponiendo que sea de todo punto hueco como un tubo; así, la velocidad real es mucho mayor; en el caso de la vid, por ejemplo, cuya seccion era de $\frac{1}{4}$ de pulgada cuadrada, Hales había encontrado por algunos ensayos, que la parte sólida ocupaba los $\frac{3}{4}$ de este espacio: las salidas por las cuales se elevaba el líquido eran pues $\frac{1}{16}$ de pulgada solamente, y la velocidad real era por consiguiente de 12 pulgadas por hora, ó de una pulgada en cada 5 minutos.

»No he referido los números precedentes sinó para dar una idéa de los fenómenos; por suponerse bien, que dependen del estado de la atmósfera, del de la planta, de la estension de las raices y principalmente de la cantidad de sus hojas ó de la superficie por que traspira.

»Sin embargo, *MMrs. Desfontaines*, *Mirbel y Chevreul* han repetido en 1811, con el mismo éxito que Hales, el esperimento sobre la absorcion del *girasol* (Helianthus annuus) y han obtenido casi el mismo resultado.

»Despues de haber comprobado la existencia de esta fuerza de aspiracion, Hales se propuso determinar su medida valiéndose del aparato siguiente (fig. 55).

CC', cubeta llena de mercurio.

t. tubo de algunas líneas de diámetro terminado por un tubo mas ancho *T*.
R, ramo que penetra en el tubo *T*, bien embetunado y recubierto de muchos dobleces de vejiga húmeda fuertemente adheridos ó atados al tubo y á la rama.

»Llenos de agua los tubos se sumerge el estremo inferior en la cubeta de mercurio, y se abandona el esperimento á sí mismo; la fuerza de aspiracion se mide por la altura vertical de las columnas de agua y de mercurio que se elevan y permanecen suspendidas en el tubo. En los esperimentos de esta naturaleza no es raro el que ramos vigorosos de una pulgada de diámetro con sus hojas, hagan subir el mercurio muchas pulgadas en el tubo; y en uno de los esperimentos de Hales, un tallo del manzano de la que llaman *manzana de oro*, de 3 pies de longitud, le hizo subir cerca de 12 pulgadas en tres horas en el mes de julio cuando el sol calentaba mucho.

»Un esperimento notable prueba que esta fuerza de aspiracion no es una fuerza ascensional en el sentido natural del tallo; porque la absorcion se hace con la misma intensidad cuando el tallo se coloca al reves (fig. 56).

»En fin, parece resultar de un gran número de esperimentos de Hales, que la fuerza de aspiracion es sensiblemente proporcional á la superficie de evaporacion; porque, quitando las hojas, descortezando los tallos, ó cortándolos mas ó ménos cerca del tubo de aspiracion, se ve que esta fuerza disminuye progresivamente.

»Nosotros, siguiendo á Hales y demas observadores, hemos descrito estos fenómenos empleando su lenguage; y como ellos, los hemos atribuido por un momento á una *fuerza* de *aspiracion*. Pero como ántes de admitir una fuerza nueva para esplicar un hecho, es necesario tener seguridad de que las fuerzas conocidas son incapaces de producirle, debemos advertir que en todo lo que precede, no hay nada que no pueda rigurosamente ser producido por la doble accion de las presiones atmosféricas y de la capilaridad; y se puede admitir que la presion atmosférica hace subir el líquido; que la capilaridad favorece este ascenso; y que obra particularmente para sujetarle, ó mas bien para impedir que el aire entre por los poros superficiales y le haga correr de alto abajo.

377 Pág. 30 »Los Fisiologistas han tratado de indagar el orígen de esta fuerza de impulsion que recibe la savia en una cierta época del año; pero en una cuestion tan delicada, los hechos valen

mas que largas discusiones, y nos limitarémos á referir sobre este punto los esperimentos recientes de un observador lleno de sagacidad á quien debe la ciencia muchos descubrimientos originales. *Mr. Dutrochet* tomó un sarmiento de dos metros de longitud (unos 7 pies esp.); tronchó el estremo, y su savia principió á correr en abundancia. Durante este movimiento, que se continuaba con una gran regularidad, se cortó el tallo de un solo tajo al ras de la tierra, y separado del tronco, la savia que contenía permaneció inmóvil, sin dar ningun signo aparente de impulso; el tronco arrojaba, al contrario, muchas gotas, y cortado á su vez á una cierta profundidad, se detuvo repentinamente su savia. Cortada la raiz sucesivamente hasta las raices fibrosas, se vió siempre el impulso de la savia muy fuerte en la parte restante y completamente nula en la parte separada. Este esperimento parece concluyente y *Mr. Dutrochet* dedujo en efecto que la fuerza impulsiva de la savia tiene su orígen en las numerosas *raicillas*, de que el nabo se compone; las mismas raicillas están terminadas por un pequeño cono blanquecino, llamado *spongiole*, y algunas observaciones directas inducen á *Mr. Dutrochet* á pensar que este órgano particular es el verdadero sitio de la fuerza impulsiva.

......*Mr. Dutrochet* supone que es idéntica con la fuerza de *endosmose* y de *exosmose* que él ha descubierto."

378 El tomo 2.°, parte 2.ª impreso en 1830 contiene la Meteorologia; sigue la misma foliacion en dicha segunda parte, y en la pág. 608, dice: "Se designaban en otro tiempo bajo el nombre de *metéoros* todos los fenómenos que se manifiestan accidentalmente en los aires. Así, el *arco iris* y los *falsos soles* eran metéoros *luminosos*; las *trompas* y los *huracanes*, *metéoros aereos*; las lluvias estraordinarias, metéoros *acuosos*; las exhalaciones ó *estrellas ambulantes*, los *globos de fuego* y *el rayo*, *metéoros inflamados*, &c. La aparicion de estos metéoros en el seno de la atmósfera escitaba al principio el terror, así como se verificaba con la aparicion de los cometas en el cielo. Pero despues de algunos siglos, los espantos de la imaginacion cedieron su lugar al espíritu de observacion; y bien pronto las causas ocultas, arrojadas del cielo y de la tierra, llevaron consigo los efectos maravillosos, los prodigios y los presagios amenazadores. Entónces principió el verdadero estudio de los metéoros.......

......Pág. 617 »Para resolver esta cuestion de una manera completa serían necesarias, no solo observaciones pasageras, hechas sobre algunos puntos aislados del globo, sinó que serían indispensables observaciones seculares, hechas con buenos instrumentos en to-

dos los climas diferentes. Pero nosotros estamos léjos de poseer estos elementos esenciales; la mayor parte de las observaciones antiguas estaban hechas como al acaso y con poca precision.

379 Pág. 628 »*Discusion de las temperaturas medias. Líneas isothermas.* Eu un mismo meridiano, la temperatura media disminuye, al pasar del ecuador hácia los polos; y en una misma vertical, la temperatura disminuye con la elevacion absoluta. Así, la latitud y la altura sobre el nivel del mar son las dos causas generales que determinan la temperatura media de un punto de la tierra; pero el influjo de estas causas se halla modificado por una multitud de influencias accidentales ó locales; la distancia al mar, la presencia de las montañas, la naturaleza del suelo, su cultivo é inclinacion, la direccion de los vientos y todos los fenómenos atmosféricos, son otras tantas causas secundarias, ya constantes, ya variables, que modifican sin cesar las dos espresadas causas generales. Se concibe fácilmente desde entónces que viene á ser muy difícil establecer el órden en medio de esta confusion, y someter á una ley comun fenómenos tan variados. He aqui sin embargo algunas definiciones que nos servirán para aproximar los resultados y comprenderlos en un solo pensamiento.

»Concibamos, por ejemplo, que un viagero dé la vuelta al mundo partiendo de París, y que pase por todos los puntos del hemisferio boreal, que tengan la misma temperatura media que en París, á saber 10°,6; la ruta que habrá corrido, formará al rededor de la tierra una *curva de igual calor*; esta es la que se llama una *línea isotherma*, Así, una línea de esta naturaleza, es la que pasa por todos los puntos de la superficie de la tierra para los cuales la temperatura media es la misma. La línea *isotherma* de 10°,6, está léjos de coincidir con el paralelo de París; es irregular y sinuosa, es decir, que pasa por puntos cuya latitud es muy diferente......El espacio comprendido entre dos líneas isothermas es lo que se llama una *banda isotherma* ó *una zona isotherma*,

»Dividirémos el hemisferio boreal en seis zonas *isothermas*

1.ª La zona del 30° al 23°,5, esto es la zona tórrida.

2.ª	del. . .	23°,5. . . .	al. . .	20°
3.ª	del. . .	20°.	al. . .	15
4.ª	del . .	15. . . .	al. . .	10
5.ª	del. . .	10. . . .	al. . .	5
6.ª	del. . .	5. . . .	al. . .	0°

380 Pág. 646 »El suelo, en sus capas superficiales, desde al-

gunas líneas hasta una pulgada de profundidad, tiene siempre una temperatura muy diferente de la del aire. Su naturaleza química, su estado de agregacion, sus facultades conductrices, y radiantes, y su humedad ó sequedad, son otras tantas causas que modifican los grados de calor ó frio que adquiere durante el dia y la noche. Estas causas son tan numerosas y tan variables, que es difícil hacer su análisis, ó aun estudiar sus efectos por la esperiencia para someterlos despues á algunas leyes generales. Pero se puede asegurar, sin embargo, que la superficie del suelo toma ordinariamente, durante el dia, temperaturas mucho mas altas que la temperatura del aire, y durante la noche temperaturas mucho mas bajas. En nuestros climas no es raro hallar el suelo á 50° durante los calores del estío, y yo lo he visto una vez á 65° en un jardin de París en 1824; sucede tambien muy frecuentemente que durante la noche desciende 8 á 10° debajo de la temperatura del aire, y en los hermosos dias de invierno se pueden observar diferencias aun mayores.

381 »De la *temperatura á grandes profundidades*. Muchos observadores habían reconocido en otro tiempo que en las profundidades de las minas se esperimenta un calor sensible; pero en aquella época se ponía mucho mas cuidado en esplicar los hechos, que en observarlos. Se esplicaba, pues, este calor subterráneo ántes de haber hecho conocer su existencia de una manera positiva; y se esplicaba de diferentes modos: los unos como *Boyle*, lo atribuían á la descomposion de las piritas, ó mas bien á aquellas especies de fermentaciones á las cuales se recurría tan frecuentemente para esplicar los hechos embarazosos; los otros le miraban como una confirmacion ó una consecuencia de la famosa hipótesis del *fuego central* que se había imaginado en los tiempos mas remotos, y que estaba á su vez adoptada ó desechada por los Filósofos y por los Físicos. Mas cuando el espíritu de duda y de exámen reemplazó al espíritu sistemático; cuando se llegó á investigar la verdad por la via de los datos esperimentales y no por las sutilezas lógicas, se comprendió que la existencia ó la no existencia del calor subterráneo era una de las mayores cuestiones que la Física podía proponerse; y que para resolverla, una observacion termométrica sería mas eficaz que las mas elocuentes disertaciones. *Gensanne* parece ser el primer observador que ha llevado el termómetro á profundidades gradualmente crecientes, y que ha descubierto este hecho importante: *que la temperatura aumenta con la profundidad.*

Estos esperimentos remontan al año 1740: fueron hechos en las minas de plomo de *Giromagny* á tres leguas de *Beford*; y he aquí los resultados.

Profundidades.		Temperaturas.
á 101 metros.	362 pies esp.	12,5 centígrados.
206	739	13,1
308	1105	19,0
433	1554	22,7

»En 1785, de *Saussure* hizo esperimentos análogos en el canton de Berna.

»En estas galerías abandonadas hace mucho tiempo, de *Saussure* halló las temperaturas siguientes.

Profundidades.		Temperaturas.
en 108 metros.	388 pies esp.	14,4 centígrados.
183	657	15,6
220	790	17,4

»En 1791, *Mr. de Humboldt* hizo tambien numerosas séries de esperimentos en las minas de *Freyberg* con *Mr. Feiseleben.* En 1802, *Mr. D'Aubuisson* volvió á dar una nueva vida á esta cuestion fundamental; y despues de esta época, las observaciones se han multiplicado en las principales minas de Europa, en Francia, en Alemania, y en Inglaterra, mientras que *Mr. de Humboldt* que partió en 1798 para su memorable viage, escrutaba las temperaturas de las minas de la América hasta una profundidad de 522 metros (1981 pies esp.)

»*Mr. Cordier* ha publicado en 1827, una Memoria notable sobre la temperatura de la tierra (*Memorias del Muséo de Historia natural*); sus propias investigaciones se encuentran allí reunidas á las que se habían hecho ántes de él, y contiene los principales resultados hasta ahora desconocidos, y cuyas principales consecuencias son:

1.ª »Debajo de la capa invariable donde todas las oscilaciones del termómetro de la superficie vienen á apagarse de todo punto, despues de un debilitamiento gradual, las temperaturas quedan perfectamente constantes á todas las profundidades, sin sufrir la menor variacion durante varios años.

»Esta consecuencia está justificada por todas las observaciones

sedentarias que se han continuado en algunas minas de Sajonia por espacio de muchos años con todas las precauciones convenientes.

2.ª »En todos los parages donde se han hecho observaciones debajo de la capa invariable, se han encontrado, sin ninguna escepcion, temperaturas que van creciendo con la profundidad.

3.ª »Si se procura espresar la ley segun la cual la temperatura aumenta con la profundidad, se hallan resultados muy diferentes para las diversas localidades.

»Se encuentra por ejemplo, que para obtener un incremento de 1° en la temperatura, es necesario descender......

En Francia

cerca de 15 metros (54 pies esp.) en Decise.
19. . . (68 id. id.) en Littry.
28. . . (100 id. id.) en el Observatorio de París.
35. . . (126 id. id.) en Carmeaux.
40. . . (144 id. id.) en Bretaña.

»En Suiza

cerca de 26 metros (93 pies esp.) en las inmediaciones de Rex.

»En Sajonia

cerca de 40 metros (144 pies esp.) por término medio de diversas minas.

»En Inglaterra

cerca de 25 metros (90 pies esp.) en Cornoualles y en Devons-hire.

»En América

cerca de 25 metros (90 pies esp.) en Guanajuato.

»Así, en general, se puede decir aproximadamente, que para obtener un grado de incremento en la temperatura, es necesario descender de 25 á 30 metros (90 á 108 pies esp.) debajo del suelo; pero las irregularidades que se observan encima ó debajo de esta especie de término medio no tienen nada de sorprendente, cuando se reflexiona sobre todas las causas que pueden modificar la distribucion del calor en las diversas capas de la corteza del Globo.

382 »Acerca del decremento de temperatura, elevándose en altura vertical, si se toma el término medio entre todos los resultados; se encuentra 1° ménos en el termómetro centígrado para 165 metros (592 pies esp.) de elevacion. Pero este medio no es mas que una aproximacion que muda con los vientos y las estaciones; pues en el mismo lugar, entre Bareges y el pico de mediodia, ha sido necesario una vez 119 metros (427 pies esp.) en setiembre de 1805, y otra vez 153 metros (549 pies esp.) en setiembre de 1810.

»Otros esperimentos hacen ver que, en general, el decremento no es proporcional á la altura; y cuando no se consideran sinó alturas muy pequeñas, como de 8 á 10 metros (29 á 36 pies esp.) se observan irregularidades singulares que dependen de la direccion del viento, de la presencia ó ausencia del sol, &c.; no es raro por ejemplo, ver entre estos límites la temperatura venir á ser creciente con la altura. Este fenómeno sucede en general en la noche hasta la mañana, cuando el aire está en calma y el cielo sereno; y es efecto de la radiacion.

»Por la misma causa se puede esperar encontrar algunas veces la temperatura sobre poco mas ó ménos constante.

»*Mr. Humboldt* ha hecho en América un gran número de observaciones cerca del ecuador, en los andes de Quito y hácia el estremo boreal de la Zona tórrida, en las cordilleras de Méjico. Él ha sacado las consecuencias espresadas en la tabla siguiente:

Altura en		Temperatura media	Diferencias.
0 metros	(0 pies esp.)	27,5	
			5,7
1000	(3589 id. id.)	21,8	
			3,4
2000	(7178 id. id.)	18,4	
			4,1
3000	(10767 id. id.)	14,3	
			7,3
4000	(14356 id. id.)	7	
			5,5
5000	(17945 id. id.)	1,5	

»Así en estas regiones sobre los flancos de aquellas montañas no ménos prodigiosas por su espesor que por su elevacion, el decremento de la temperatura no es uniforme; se ve que es el mas pequeño posible entre 1000 metros y 2000 metros (entre 3589 y 7178 pies esp.). Esta capa de la atmósfera es, bajo el ecuador, la region habitual de las nubes; allí es donde los vapores mas ó ménos condensados, absorven en mayor proporcion el calor solar, y no se debe uno admirar de que esta region sea en efecto ménos fria que las que pertenecen á un aire mas puro y mas trasparente.

»En las regiones polares, en *Ingloolick* cuya latitud es 69° 21′, el capitan *Parry* ha elevado una birlocha hasta 400 pies de altura con un termómetro de *mínimo*, sin observar una diferencia sensible de temperatura: en esta alta region el termómetro señalaba 31° debajo de cero, como al nivel del mar.

Se ha ensayado espresar por una fórmula general el decremento de la temperatura de la atmósfera. *Mr. Leslie* ha llegado á este resultado notable, á saber, que *la diferencia de temperatura entre dos estaciones es, en grados centígrados, igual á 25 multiplicado por la diferencia que existe entre la relacion directa y la relacion inversa de las alturas barométricas que pertenecen á estas dos estaciones.*

383 Pág. 663 »*Causas del frio que reina sobre las montañas y en las regiones elevadas de la atmósfera.* No emprenderémos insertar aquí la historia de las numerosas y estrañas hipótesis que se han hecho para esplicar el estado termométrico de la atmósfera y de las altas montañas; este asunto se presentaba por sí mismo á la imaginacion; y es necesario confesarlo, la imaginacion lo ha tratado con un verdadero lujo de invencion; y aun podríamos añadir que las obras mas modernas conservan algo todavía. Sin embargo, este fenómeno parece ahora muy simple; resulta de algunas propiedades del aire que son ya bien conocidas y están verificadas por la esperiencia: estas propiedades son las siguientes.

1.ª »El aire libre se calienta lentamente, y se enfria con rapidez.

2.ª »El aire caliente se eleva en virtud de su ligereza específica.

3.ª »El aire que se dilata toma una capacidad mayor para el calor.

384 Pág. 671 »*Temperatura de las aguas y formacion de los hielos. Temperatura de las fuentes.* Todas las fuentes abundantes tienen una temperatura que varía muy poco en las diferentes estaciones del año; para nuestro hemisferio, ellas obtienen en general su mas alto grado de calor hácia el mes de septiembre, y su mayor grado de frio hácia el mes de marzo. La diferencia en estas dos épocas estremas viene á ser de 1 á 2 grados. Era curioso comparar la temperatura media de las fuentes con la temperatura media del aire en la superficie del suelo, donde llegan á salir.....

»De la comparacion hecha en todas las partes del Globo, resulta que, en la zona tórrida, la temperatura media del aire es en general un poco mas alta que la temperatura de las fuentes; pero en la zona templada, sucede lo contrario; las fuentes son mas calientes que el aire, y su esceso viene á ser en general creciente con la latitud, de tal modo que á 60° y á 70°, en virtud de observaciones muy exactas de *Wahleuberg*, ellas le esceden en 3° ó 4° centígrados.

»Cuando las fuentes no son termales, su temperatura es ciertamente prodncida por las diversas capas de terreno que han debido atravesar; pero bajo este concepto, hay una diferencia entre las fuentes muy pequeñas y las muy abundantes: las primeras no pueden ejercer reaccion sinó muy débilmente sobre las capas que atraviesan; están de algun modo obligadas á tomar su temperatura, y á llegar á la superficie despues de haber padecido diversos grados de enfriamiento; al contrario, las fuentes abundantes llegan á la superficie con la temperatura de las capas en que se han formado; porque si encuentran capas mas frias, las recalientan; si las encuentran mas calientes, las enfrian, y las alteraciones que ellas mismas sufren para producir estos efectos son tanto menores cuanto las aguas son mas abundantes. Estos resultados, indicados de antemano por la teoría, están confirmados por las observaciones que se han hecho sobre los *pozos artesianos*; la temperatura de las aguas que derraman en la superficie del suelo. parece ser sobre poco mas ó ménos exactamente la temperatura de las capas profundas en las cuales ellas toman su orígen; y como por las observaciones hechas conocemos la temperatura á diversas profundidades, resulta que, segun la profundidad de donde provengan las aguas, se podrá suponer el grado de calor que gozarán. Esta temperatura es invariable, y se encuentra tanto mayor cuanto la profundidad del pozo es mas grande. *Mr. Arago*, que ha tenido la idéa de servirse de este medio para encontrar la temperatura de la tierra á diversas profundidades, ha recogido un gran número de observaciones que permiten de algun modo juzgar de la profundidad de un pozo cuando se conoce la temperatura de sus aguas, ó recíprocamente, de predecir cuál será la temperatura de las aguas, cuando se sabe á qué frofundidad ellas toman nacimiento.

385 »Las *fuentes termales* obtienen algunas veces temperaturas próximas á la ebullicion, y todo lo que se sabe hasta ahora sobre la situacion de estas fuentes no permite decidir si ellas reciben estos altos grados de calor de la profundidad á que toman nacimiento, ó si lo tienen de algunas circunstancias particulares á las capas que atraviesan. Para cortar la dificultad, no basta notar que en muchas de estas fuentes la temperatura haya permanecido constante durante muchos años, porque se puede concebir fácilmente la existencia de acciones locales que no agotan, ó aun que no se alteran durante siglos; las fuentes saladas, que se benefician, presentan un ejemplo, y si se objetase que estas fuentes vienen puede

ser del mar, y que la causa que las sala no es local, se podría responder que este orígen es al ménos muy contestable; y que por lo demas, existen un gran número de fuentes minerales que no vienen ciertamente del mar, y que parecen tener en disolucion los mismos elementos, y en la misma proporcion despues de un grandísimo número de años.

386 »De la *temperatura de los lagos y de los rios y de su congelacion*, &c. En los lagos, las capas superiores del agua sufren variaciones de temperatura considerables; se sabe que en invierno ellas pueden congelarse, y que en estío llegan á temperaturas de 20° á 25°. Pero lo que sucede en la superficie no se reproduce en las capas mas profundas; hay en estas masas de fluido una distribucion del calor que no se hace ni por las mismas causas ni en virtud de las mismas leyes que en los sólidos, y sería muy importante hacer esperimentos sobre este asunto. De *Saussure* me parece haber sido el primer observador que se ha ocupado de esta gran cuestion; él recorrió la mayor parte de los lagos de Suiza; determinó su temperatura en la superficie y en las diversas profundidades; y de sus apreciables esperimentos ha salido el principio fundamental del equilibrio de temperatura en las aguas.

»Referirémos en la tabla siguiente solo los resultados que ha obtenido en la superficie y en las capas del fondo.

NOMBRES de los Lagos.	Frio en la superficie.	Frio en el fondo.	Profundidad en pies	
			franceses.	españoles.
De Ginebra.	5,0	5,4	950	1108
Idem.	21,2	6,1	150	175
De Thun.	19,0	5,0	350	408
De Brientz.	19,4	4,8	500	583
De Lucerna.	20,3	4,9	600	699
De Constanza. . . .	18,1	4,3	370	431
Mayor..	25,0	6,7	335	391
De Neufchatel. . . .	23,1	5,0	325	379
De Vienne.	20,7	6,9	217	253
D' Anuecy.	14,4	5,6	163	190
De Bourget.	17,9	5,6	240	280

»Estos esperimentos se han hecho desde 1777 á 1784; si las temperaturas en la superficie son muy diferentes, es porque se han observado en diversas estaciones del año; pero en todos los casos la temperatura del fondo y la de la superficie son del mismo dia y aun del mismo instante. Estos resultados presentan una consecuencia notable: la temperatura del fondo es casi constante en todos los lagos y es muy inferior á la temperatura media del parage. De *Saussure*, despues de haber verificado el hecho, había declarado que los principios entónces conocidos no podían bastar para esplicarlos. En efecto, en dicha época no se conocía la propiedad que posée el agua de tener un *máximo* de densidad á la temperatura de 4°,5 sobre poco mas ó ménos. Es sobre esta propiedad sobre la que reposa esencialmente el equilibrio de temperatura de las grandes masas fluidas....

»Durante la estacion caliente del año, dos causas concurren á elevar la temperatura de las capas superiores del agua de los lagos: el aire que obra por su contacto, y el calor solar que penetra á una profundidad mas ó ménos grande. Estas capas calentadas se mezclan de mil maneras sin caer al fondo; porque ellas están sostenidas sin cesar por su ligereza específica, y porque la mayor agitacion de las olas no se hace jamas sentir sinó á una pequeña profundidad *.

»Así en estío y hasta fin de otoño la temperatura debe ser sin cesar decreciente con la profundidad; esto es lo que manifiestan los esperimentos de *Saussure*, y lo que ha verificado despues *Mr. Labeche* con un cuidado particular (*An. de Fis. y Quim.* XIX. pág. 77.)

»Durante la estacion del frio, la capa superior se enfría por dos causas; por el contacto del aire frio, y por la radiacion, y principalmente por la radiacion nocturna. Esta capa se contrae al enfriarse, adquiere una densidad mayor, y cae á una pequeña profundidad mezclándose con las capas mas calientes que estaban debajo. Desde que ella cae se templa por otra que se enfría y que cae á su vez; viene otra que sufre los mismos efectos, y por estas corrientes continuamente ascendentes y descendentes es por las que todas las capas superiores se enfrían. Pero, no se puede perder de vista que la pérdida de todo el calor se verifica en la superficie. Si el agua no tuviese un *máximo* de densidad, es evidente que, durante toda la estacion del enfriamiento, la temperatura sería aun decreciente con la profundidad, porque las capas mas calientes siendo al mismo tiempo

---

* En los lagos es verdadera esta suposicion; pero en los mares fué una hipótesis que hizo *Lagrange*, y que despues han desmentido las investigaciones de *MMrs. Poisson* y *Cauchy*.

las mas ligeras, sería necesario, para obedecer á las leyes del equilibrio, que fueran tambien las mas elevadas. Así la superficie no podría llegar á la temperatura *cero*, sinó cuando toda la masa estuviese al ménos á dicha temperatura, y por consiguiente habría una congelacion simultánea en todo el espesor del lago, desde la superficie á la mayor profundidad. Pero á causa del *máximo* de densidad los fenómenos se verifican de otro modo. Desde que las capas de la superficie llegan á la temperatura *máxima*, ellas caen, otras las reemplazan, que caen á su vez, hasta que toda la masa en todo su espesor haya llegado á esta temperatura límite. Imaginémos por un instante, que los frios del invierno se hayan prolongado bastante tiempo para establecer esta distribucion de calor y densidad. Continuando el frio, y siempre *por la superficie*, la capa superior no podrá ya caer, porque viene á ser mas ligera al mismo tiempo que viene á ser mas fria. La depresion de la temperatura podrá, pues, continuar por ella y prolongarse indefinidamente; porque permanecería indefinidamente mas ligera. En una masa perfectamente en calma y sin agitacion, esta primera capa debería congelarse primero, sin que las capas inferiores participasen de la depresion de temperatura, sinó es por la conductibilidad, que es escesivamente débil en todos los líquidos, y particularmente en el agua. Pero como en realidad se produce siempre una agitacion mas ó ménos violenta, y por consiguiente mas ó ménos profunda, no será únicamente la primera capa la que se enfriará debajo del *máximo*, sinó todo el espesor de las capas sin cesar mezcladas por agitaciones de las olas. Durante todo este enfriamiento, las capas inferiores permanecerán á la temperatura constante del *máximo* hasta las mayores profundidades. Así, en esta época, la temperatura será creciente con la profundidad hasta la primera capa, que está á 4°,4 y debajo de esta la temperatura será constante. No se tienen muchos esperimentos hechos durante el invierno; pero todos cooperan á confirmar este resultado.

»He aquí por que en los lagos profundos la congelacion principia esencialmente por la superficie, y no penetra jamas sinó muy lentamente á una profundidad algo considerable.

»El mismo principio nos hace ver aun, que, en las aguas tranquilas y profundas, será necesario, para determinar la congelacion, frios muy rigurosos y sostenidos por muy largo tiempo. Porque es necesario que todas las capas que han sido recalentadas en la estacion caliente hayan podido venir á la superficie á perder el calor que las mantiene sobre la temperatura *máxima*; y si estas capas

forman un espesor de 500 á 600 pies, es evidente que ellas deberán en las mismas circunstancias, emplear un tiempo mucho mas largo en venir á su vez á pasar á la superficie para perder allí su esceso de temperatura, que si ellas formasen solamente un espesor de 20 á 30 pies. Hácia las orillas, sobre los bancos de un gran ancho, y en todos los lugares donde no hay sinó una pequeña profundidad, se verán, pues, formarse capas de hielo y tomar un grande espesor, mientras que en el medio, donde la profundidad es grande, la superficie permanece libre y la temperatura se sostiene á un grado mas alto.

»Sin embargo, se presenta aquí una cuestion que resolver, sobre la cual no tenemos hasta ahora sinó datos inciertos: es la de saber hasta qué profundidad pueden hacerse sentir los calores del estío. Si, por ejemplo, no pueden hacerse sentir sinó á 500 pies, un lago de 10000 pies de profundidad no se helará mas tarde que un lago de 500 pies, porque en el primero, las capas que están debajo de 500 pies, permaneciendo á la temperatura constante del *máximo* durante todo el año, es evidente que ellas son como si no existiesen, y que se las puede concebir separadas del resto de la masa sin turbar en nada los fenómenos que se verifican en las capas superiores.

»Sería importante tambien hacer esperimentos sobre la temperatura del agua en su superficie, en el momento de la congelacion; porque todo parece indicar que esta temperatura puede llegar mas abajo de cero, sin que se verifique la congelacion, sea que la agitacion contínua de las moléculas se oponga, sea que otras causas puedan tambien concurrir.

»Si ántes de la congelacion la temperatura de un lago, ha debido ser un instante 4°,4 en toda su profundidad, es fácil de ver, que despues del derretimiento, el mismo fenómeno debe reproducirse ántes que las capas superficiales puedan recalentarse mas arriba del *máximo*. Estos dos estados de equilibrio suponen siempre que las causas del recalentamiento y enfriamiento no son demasiado bruscas para que las corrientes ascendentes y descendentes puedan establecerse con regularidad.

»En los *ríos*, la distribucion del calor se verifica segun otras leyes, á causa del movimiento de traslacion de las moléculas líquidas. De lo cual resulta una mezcla contínua de las capas superiores con las inferiores, que cooperan á establecer una temperatura uniforme en toda la masa; sin embargo, como este movimiento es diferente

en la superficie y en el fondo, en medio del lecho y hácia las orillas, resultan una multitud de fenómenos accidentales, determinados por estas circunstancias. Entre estos fenómenos, los de la congelacion son los únicos que se han observado con algun esmero. Está comprobado por esperimentos decisivos, que en ciertos casos la congelacion principia en la superficie, y que en otros principia en el fondo.

»Cuando los rios conducen carámbanos ó témpanos de nieve, se puede decir en general, que todos estos hielos que se chocan y toman por el choque formas redondeadas ó angulosas, han sido primitivamente formados en la superficie; algunos se han desprendido de las orillas, pero los otros no han sido en su orígen sinó pequeños embriones, pequeñas partecillas flotantes que han tomado volúmen vogando en el agua.

»La formacion de los primeros no es dudosa, pues se ven las riberas, márgenes &c. cubiertas de una lámina de hielo, que es sin cesar batida, y quebrantada por las olas. En dichos parages es donde la congelacion principia, porque en general, el agua tiene allí menor profundidad, y se halla en contacto con un terreno sin cesar enfriado por el aire y por la radiacion. El hielo que se adhiere á las orillas se enfría á su vez por esta doble causa, y viene á ser entónces, así como la misma ribera, un cuerpo frio capaz de helar lo que tiene en su contacto. Los fragmentos voluminosos ó aun imperceptibles, que están rotos en esta masa, vienen á ser flotantes por su ligereza específica; se enfrían mas que el agua, y las gotas que vienen á caer sobre las orillas se congelan en ellas al instante; porque se enfrían y vienen á ser inmóviles.

»La formacion de los carámbanos, en la superficie misma del agua léjos de las orillas y de todos los cuerpos sólidos, ha sido puesta en duda por algunos Físicos; es difícil, en efecto dar una prueba directa de ello; porque si se encuentran en lo ancho fragmentos de hielo, ó aun los rudimentos que los forman, se puede siempre suponer que vienen de las orillas, y que han sido desprendidos de ellas por las olas. Pero se debe convenir sin embargo; en que la superficie libre de las aguas puede ser indefinidamente enfriada debajo de cero, y que por esta causa á pesar del movimiento, debe dar orígen á agujas de hielo que engruesan despues enfriándose mas por el contacto del aire y por la radiacion.

»La formacion del hielo en el fondo mismo del agua ha sido largo tiempo disputada; pero hábiles observadores han recogido pruebas directas de ello, y se trata ahora de esplicar la causa,

y no de negar su posibilidad. El agua agitada de los arroyos y de los rios puede sin duda bajar muchos grados debajo de cero sin congelarse; y donde la profundidad no es muy grande, todo el espesor de la capa líquida puede participar de esta depresion de temperatura, las materias sólidas del fondo pueden al fin participar tambien ellas mismas por su contacto prolongado con el agua; pero, hácia el fondo, el movimiento es ménos rápido que en la superficie. Las desigualdades del suelo forman una multitud de pequeñas celdas ó especies de abrigos donde el agua no está sinó débilmente agitada; entónces se concibe que la congelacion se verifica allí, y aun el que se verifica en dicho parage, ántes que en la superficie. Otras causas puede ser que favorezcan este fenómeno; pero el papel que juegan las superficies sólidas enfriadas, no es tal como algunas personas lo suponen, porque en el esperimento de *Fareinheit*, por el cual se baja el agua á 10 ó 12 grados debajo de cero, sin que se hiele, el líquido toca las paredes enfriadas de la cápsula que le contiene, y en sus puntos de contacto, no sufre mas congelacion que en los puntos en que la superficie es libre.

»Para que los rios puedan congelarse en todo su ancho, es necesario un frio muy fuerte y muy sostenido; sin embargo, este fenómeno varía con la altura, con la velocidad y con la profundidad de las aguas. Los historiadores refieren sobre este punto hechos que no son reproducidos en el último siglo, pero que no deben por esto ser mirados como imposibles. Ellos dicen, por ejemplo, que el mar Negro quedó enteramente helado el año 400 y el 763; que el Nilo fué igualmente helado en todo su ancho en el año de 829. Sin remontar á épocas tan antiguas, citarémos aquí los frios mas estraordinarios principiando desde el siglo 17.°, indicando aproximadamente las temperaturas que les corresponden.

»La flota Veneciana se encontró cogida por los hielos en las lagunas de Venecia en 1621 (á—20°).

»El puerto de Marsella se heló en 1638 y en 1709 (á—20°).

»Carlos X, rey de Suecia, atravesó el *Pequeño-Belt*, sobre el hielo con todo un ejército, su artillería, sus cajas, sus bagajes, &c. en 1658.

»Parece que para congelarse el Ródano es necesario una temperatura que se sostenga algun tiempo á—18°.

»El Támesis quedó totalmente helado en Londres en 1684, en 1716 y en 1740.

»El Sena se hiela muy frecuentemente en París. Citarémos al-

gunas observaciones que se han hecho sobre las temperaturas correspondientes.

»El Sena se ha helado en 1740 á—14° del termómetro centígrado

1742 á—10	Así, se necesita al ménos una temperatura de —9° para determinar la congelacion del Sena *.
1744 á— 9	
1762 á— 9	
1766 á— 9	
1767 á—16	
1776 á—12	
1788 á—13	

»Cuando un rio está helado, la capa de hielo que le cubre aumenta rápidamente de espesor en los primeros instantes; pero despues el frio penetra mas y mas lentamente á causa de la imperfecta conductibilidad del hielo. La radiacion de las noches parece tener una grande influencia sobre este fenómeno; porque se observan algunas veces las capas muy distintas que se han formado sucesivamente las unas debajo de las otras. Por ejemplo, en el invierno de 1821 se han contado hasta 21 capas distintas en témpanos de hielo de 15 pulgadas de espesor, formados sobre los lagos que rodean á *New-Heaven* (América). Hácia lo alto, el espesor de las capas variaba entre 12 y 18 líneas, en lo bajo, hácia la superficie del agua, eran solamente de 3 á 6 líneas. Sin embargo se había verificado bien que el frio había sido siempre creciente.

»El hielo puede, como todos los cuerpos, dilatarse por el calor y contraerse por el frio.

»Cuando los hielos han sido rotos ántes del *deshielo repentino*, pueden demasiado frecuentemente producir espantosos desastres. De todos los medios que se han imaginado para precaver estas desgracias, el mas eficaz parece ser introducir bajo el hielo de distancia en distancia una especie de pequeñas bombas que se hacen reventar despues. La esplosion determina hendeduras numerosas, y los

---

* En 1827 ó 1828 se heló á—7°, estando yo allí; pero hubo frios á—13°. El Padre Jacinto Feliu, individuo del célebre Instituto de las Escuelas Pías, y Profesor de Matemáticas de un distinguidísimo mérito en el Colegio de Segovia, ha observado que el rio Eresma permaneció helado por muchos dias á fin del año de 1828 y principios del de 1829, habiendo llegado á señalar el termómetro de Reaumur *catorce* grados debajo de cero el último dia del año 1828, estando colocado el termómetro al aire libre en la parte del norte del Real Alcazar al nivel del suelo.

fragmentos que de ellas resultan son bastante pequeños para no ser temibles.

386 Pág. 684 »*De la temperatura de los mares, y de la formacion de los hielos polares.* En estos últimos años, muchos hábiles navegantes han corrido los mares ecuatoriales y los polares; ellos han hecho por todas partes sobre las temperaturas y fenómenos que dependen de ellas, numerosas séries de observaciones que son infinitamente preciosas para la ciencia, y cuya discusion detallada se debe buscar en sus obras. Por lo que nos limitarémos aquí á presentar solamente las consecuencias generales á que conducen.

»En el mar, á grandes distancias de las costas, la temperatura del aire sufre generalmente en el curso de un dia variaciones mucho menores que sobre los continentes.

»Por ejemplo, en los mares ecuatoriales, la diferencia entre el *máximo* y el *mínimo* del dia es á lo mas 1 ó 2°, miéntras que sobre los continentes se eleva á 5 ó 6 grados.

»En las regiones templadas entre 25 y 50 grados de latitud, la diferencia entre el máximo y el mínimo del dia, permanece aun mas pequeña; llega raras veces de 2 á 3°, mientras que sobre los continentes la diferencia es muy grande; en París se eleva algunas veces á 12 ó 15°.

»La temperatura mínima es como en tierra la del momento de salir el sol; pero algunos observadores piensan que el máximo se halla cerca del mediodia, en lugar de ser como en tierra á las dos ó las tres de la tarde.

»Cuando se compara la temperatura del aire con la que toma el mar en su superficie, se llega á los resultados siguientes:

»Entre los trópicos, el aire, en sus mas altas temperaturas, es en general, un poco mas caliente que la superficie del agua, tomada tambien en sus mas altas temperaturas; esto es lo que se puede ver en las dos tablas siguientes que están sacadas de una noticia dada por *Mr. Arago* en el Anuario de 1825 (de que nosotros pondrémos solo el resultado de nuestro famoso marino Churruca).

»En el Océano atlántico en noviembre de 1788 á 0,58 de latitud sur. La temperatura máxima es de 27°,2 segun *Churruca*. Esta temperatura es la de la atmósfera, observada en plena mar léjos de los continentes...... y la temperatura del agua en la superficie es de 28°,7 (segun Churruca) en octubre de 1788 á la latitud de $6\frac{3}{4}$ N. long. de París $22\frac{4}{5}$ O.

»Pero cuando se toma la temperatura del aire y la del agua de

cuatro en cuatro horas, como lo ha hecho el capitan *Duperrey*, y se comparan despues todas estas temperaturas, se llega á un resultado inverso, es decir que en general el agua es mas caliente que el aire aun entre los trópicos.

387 Pág. 688 »Entre 1850 observaciones hechas por este hábil navegante á latitudes norte ó sur comprendidas entre 0° y 20° durante un viage al rededor del Mundo, el mar ha estado 1371 veces mas caliente que el aire, y el aire solamente 479 veces mas caliente que el mar.

»En latitudes mas elevadas entre 25° y 50°, el aire no es sinó muy raras veces mas caliente que la superficie del agua; y en las regiones polares, casi no hay ejemplo de que el aire se encuentre tan caliente como el mar; él está siempre mas frio, y ordinariamente mucho mas frio.

»Si examinamos ahora las temperaturas absolutas del mar, en la superficie y en las diferentes profundidades, serémos conducidos á las consecuencias siguientes:

1.ª »Entre los trópicos, la temperatura disminuye con la profundidad; lo cual se halla confirmado por todas las observaciones Citarémos solamente las mas interesantes.

Temperatura en la superficie.	Temperatura en la profundidad indicada.	Profundidad en brazas inglesas.	Nombre del Observador.
28,33	7,5	1000	Labine.
30,77	9,7	100	Ross.
22,8	5,6	1000	Wauchope.

2.ª »En los mares polares, la temperatura aumenta con la profundidad.

3.ª »En los mares templados comprendidos entre 30° y 70° de latitud, la temperatura es tanto ménos decreciente cuanto la latitud viene á ser mayor, y cerca del paralelo de 70° principia á crecer.

»Existe por consiguiente una Zona en que la temperatura es sobre poco mas ó ménos constante, desde la superficie hasta una profundidad muy grande.

.....»Despues de haber reasumido en las proposiciones precedentes el conjunto de las observaciones que se han hecho hasta ahora, falta indagar las causas que pueden mantener esta singular distribucion

del calor en la masa móvil de las aguas que llena el vasto depósito de los mares.

»Se concibe primero por qué la superficie de las agnas no se puede comparar á la superficie del suelo, ni por su recalentamiento durante el dia, ni por su enfriamiento durante la noche; este fenómeno depende de la movilidad del líquido, cuyas moléculas están sin cesar mezcladas hasta una gran profundidad, ya por las corrientes que resultan de las diferentes densidades, ya por la agitacion de las olas. Durante el dia, la capa superficial se calienta ménos, porque se enfría por la evaporacion, y porque es bien pronto rechazada por la agitacion; durante la noche, se enfría ménos, porque se contrae al enfriarse, y su esceso de densidad la haría bien pronto volver á caer, si el movimiento de las olas no viniese á cada instante á mezclarla con las capas vecinas. Así, el recalentamiento y el enfriamiento son ménos sensibles, porque se verifican en una capa mas ó ménos espesa.

»El aire mismo participa, por su contacto perpetuo, de esta uniformidad de temperatura, que otras causas cooperan á mantener en la superficie de las aguas.

»Pero la temperatura de las capas profundas del mar ofrece muy grandes dificultades: bajo el ecuador á mil brazas de profundidad, la temperatura es solamente de 6° á 7°; ¿no es imposible que el agua de estas capas haya podido tomar tal enfriamiento en estos climas, pues que en su superficie el agua no llega jamas á una temperatura mas baja que 20° ó 25°? Hácia los polos á 200 brazas de profundidad, la temperatura es de dos ó tres grados; ¿no es imposible que el agua de estas capas haya podido tomar tal recalentamiento en estos paises, pues que en la superficie durante la estacion caliente, cuando los navegantes pueden surcar los mares, la temperatura no se eleva casi nunca sobre cero?

»Estas dificultades se podrían resolver, si el agua de mar tuviese como el agua dulce, un *máximo de densidad*, antes de su punto de congelacion; porque si este máximo existiese y correspondiese sobre poco mas ó ménos á 2° centígrados, se podría notar que, á profundidad igual, el agua de las regiones polares sufre verticalmente una presion mayor que el agua de las regiones ecuatoriales; que ella debe por consiguiente rechazar á esta lateralmente, para tomar su lugar. De aquí corrientes *inferiores* mas ó ménos rápidas para traer hácia el ecuador el agua enfriada de los polos, y como consecuencia necesaria corrientes *superiores*, trayendo hácia los polos

las aguas recalentadas del ecuador. Pero á una cierta latitud, las aguas superficiales teniendo la temperatura máxima de 2° á 3°, en lugar de permanecer en la superficie, se sumergirán mas y mas para ganar los polos, y compondrían así estas capas de 2° ó de 3°, cuya existencia ha sido reconocida en las navegaciones circumpolares.

»Pero si es verdad, como los esperimentos muy esmerados de *Mr. Erman*, hijo, conducen á establecer, si es verdad que el agua del mar no tiene máximo de densidad ántes de su congelacion; entónces viene á ser muy difícil de dar una esplicacion satisfactoria de la temperatura de 2° ó de 3° que se observa á grandes profundidades en los mares polares.

»Se prueba el doble embarazo de saber como estas capas han sido calentadas y como se sostienen en el fondo, contra las leyes de la densidad.....

»Una de las consecuencias necesarias de la depresion de temperatura en la superficie de las aguas es la formacion de los hielos eternos que cubren las regiones polares. Este fenómeno es uno de los mayores que nos presenta la naturaleza; y debemos dar una idéa de él.

»Los hielos que se encuentran sobre las costas del *Spitzberg* y de *Groenlandia* tienen ordinariamente 20 ó 25 pies de espesor. Forman con frecuencia llanos inmensos, cuyos límites no se perciben desde lo alto de los mástiles de los navíos, esto es lo que se llama *campos de hielo*. Se puede estimar su estension en trescientas ó cuatrocientas leguas cuadradas. Un campo de hielo presenta algunas veces una superficie perfectamente llana sobre la cual podría caminar una carroza treinta ó cuarenta leguas sin obstáculo; otras es escabrosa y desigual, viéndose de trecho en trecho elevarse eminencias ó columnas de 20 á 30 pies de altura que forman un aspecto muy pintoresco.

»Las undulaciones del agua, el movimiento de las olas ó alguna otra causa poderosa rompen un campo de hielo en un instante y le reducen á fragmentos de 100 ó 200 metros cuadrados (1288 á 2576 pies cuadrados españoles). Estos fragmentos separados se empujan y se dispersan; pero algunas veces son conducidos por una corriente rápida. Entónces si encuentran una corriente opuesta, que lleve los enormes despojos de otro campo de hielo, estas montañas se chocan con un espantoso estruendo. Un buque que se hallase espuesto á esta lucha no podría resistir al choque mas de lo que haría una lámina de vidrio á una bala de mosquete. Se tienen demasiados

ejemplos de espantosos naúfragios producidos por esta irresistible potencia. Por corrientes de esta naturaleza, el mar se abre á los navegantes, y pueden llegar hasta los paralelos de 70° á 80° donde las ballenas parecen de preferencia fijar su mansion.

»Si algunas montañas de hielo se hallan aisladas y como pulverizadas en estos terribles encuentros, hay otras al contrario que toman un nuevo incremento y vienen á ser mas formidables. Los témpanos de hielo levantados y balanceados por las olas, vuelven á caer los unos sobre los otros; se superponen, se cubren de fragmentos mas ó ménos voluminosos, y componen verdaderas montañas modificadas de mil maneras, que se elevan á 20 ó 30 pies sobre las aguas. El espesor que sobrenada es, en general, á la parte sumergida como 1 á 4; así, la altura total de estas montañas debe ser de 100 á 120 pies.

»Algunas veces tambien los témpanos de hielo de 30 á 40 metros de longitud (108 á 144 pies esp.), cargados en sus dos estremos, se sumergen de repente debajo de las aguas á una profundidad bastante grande para que el buque pase por encima, pero el equipage está entónces espuesto al mas espantoso peligro; el menor choque, la menor causa puede romper el equilibrio de los pesos que tienen el carámbano sumergido; entónces él se elevaría con impetuosidad y lanzaría el buque en los aires ó al ménos le haría zozobrar inevitablemente.

»En la bahía de *Bafin* se encuentran montañas de hielo mas altas que en los mares de *Groenlandia*; los navegantes los han medido que se elevaban mas de 100 pies sobre la superficie del agua y que tenían por consiguiente mas de 500 pies de altura total.

»La profundidad de las aguas no es muy grande en los parages próximos á las costas occidentales del *Spitzberg*. Segun lo que bajan las ballenas heridas del harpon, será dicha profundidad como de unos 3000 á 4000 pies.

»Hácia el medio del intérvalo comprendido entre el *Spitzberg* y la costa oriental de *Groenlandia*, no se ha encontrado fondo á seis ó siete mil pies.

»El capitan *Scoresby* ha visto frecuentemente el hielo formarse en plena mar á 20 leguas de las costas. Desde que los primeros embriones de los cristales vienen á ser perceptibles, el mar se pone en calma como si se hubiese derramado aceite en su superficie.

»En estos paises, la densidad del agua del mar es 1,026, en estado de reposo se congela á—2°. Las aguas que han sido concentradas por la helada pueden llegar á una densidad de 1,104. Entónces

no se hielan sino á—10°, y se sabe que el agua saturada de sal no puede solidificarse sinó á—15°.

»El viage curioso del capitan *Weddel* hácia el polo austral parece anunciar que en estas regiones el mar es mucho mas vasto y mas profundo que en las regiones boreales.

388 »La gran cuestion del equilibrio de la temperatura de la tierra no se puede estudiar en detalles sin el auxilio de las *Matemáticas*; en las Memorias, y en las obras que *Mr. Fourier* nos ha dejado, es donde se debe buscar su resolucion. Estos trabajos son uno de los mas bellos monumentos de nuestra época. Se reconoce por todas partes la mano de un gran Geómetra y el espíritu penetrante de un genio elevado.

Pág. 704 »Resulta de estos esperimentos y de estos cálculos, *que la cantidad total de calor que el sol derrama en el trascurcurso de un año sobre todo el globo de la tierra es igual á la que sería necesaria para fundir una capa de hielo que cubriese toda la superficie de la tierra, y que tuviese 14 metros de espesor* (unos 50 pies esp.).

»Tal es, pues, en último resultado, la cantidad total de calor que nuestro planeta recibe del sol durante un año. Una porcion se pierde al rededor de la tierra por la radiacion del dia y de la noche, y la porcion restante es la que es absorvida durante los meses de temperatura creciente que penetra en el suelo, á una cierta profundidad, hasta la capa invariable, y que remonta poco á poco durante la época de temperatura decreciente para venir á recalentar la superficie, y perderse á su vez en los espacios celestes. Nosotros no hablamos aquí sinó del movimiento descendente y ascendente del calor, á fin de presentar el fenómeno en toda su simplicidad; pero se concibe que, en todo el espesor de la corteza terrestre comprendido entre la superficie del suelo y la capa invariable, existe un movimiento lateral por el cual una parte del calor absorvido bajo la zona tórrida y bajo las zonas inmediatas se trasmite progresivamente en los dos hemisferios, para ir á disiparse á la superficie de las rigiones polares. Este movimiento lateral concurre poderosamente con las corrientes del mar y de la átmósfera para templar todos los climas en la superficie de la tierra. Sin la influencia combinada de estas diversas causas, los hermosos paises del ecuador serían sin duda inaccesibles al hombre por su escesivo calor, y las altas latitudes no serían ménos inaccesibles por el frio prodigioso al cual estarían espuestas.

389 »Los resultados deducidos de los trabajos de *Mr. Fourier*, son:

1.° »Todo el calor que está debajo de la capa que hemos llamado capa invariable es un calor primitivo que el Globo de la tierra tiene desde su orígen.

2.° »Este calor es constante y escesivamente grande en un vasto núcleo central; á una distancia del centro principia á disminuir segun leyes regulares hasta la capa de temperatura invariable.

3.° »Este equilibrio interior, que observamos hoy, muda con el tiempo y mudará sin cesar hasta el momento en que todo el calor primitivo sea completamente disipado por la superficie; pero estas mudanzas se verifican con tal lentitud, que es necesario largas series de siglos para que vengan á ser sensibles á nuestras observaciones. Así, á 200 ó 300 metros debajo del termómetro del Observatorio de París, la temperatura es hoy de 20 á 22°; ella bajará sucesivamente á 19, á 18 y en fin á 10 ú 11, pero será necesario muy largo tiempo para que se pueda observar el principio de esta diminucion.

4.° »Este flujo de calor, que viene de las capas profundas para estenderse por la superficie, no puede, por grande que sea, modificar en una cantidad apreciable, ni la temperatura media de la superficie misma, ni el órden de las temperaturas que se establecen, segun las estaciones en toda la corteza de la tierra superior á la capa invariable. *Mr. Fourier* estima, por ejemplo, que la temperatura superficial no puede ser afectada por ella en un treinta-avo de grado centígrado.

5.° »En fin, los climas y el órden de las estaciones dependen únicamente del calor que se distribuye en las capas superiores á la capa invariable; este calor proviene únicamente de la accion del sol; está acumulado durante una parte del año y se disipa durante la otra, de manera que se establece al fin una exacta compensacion.

390 Pág. 728 »El aire atmosférico se compone de oxígeno, de azoe y de algunas centésimas de ácido carbónico; estos elementos tienen una gran movilidad mecánica; pero al mismo tiempo tienen, en presencia los unos de los otros, una gran estabilidad química; y si existiesen solos no podrían jamas sufrir grandes sacudimientos, ni producir fenómenos meteorológicos muy variados. Las solas causas conocidas que se ejercerían entónces para agitarlos y turbar su equilibrio, serían el movimiento de rotacion de la tierra, las olas elevadas sobre las aguas, y las corrientes escitadas por el

calor. Estas causas, aunque poderosas, se reducirían sin duda á producir algunas brisas ligeras, sea en las regiones ecuatoriales, sea en las polares ó templadas. Así, todos los grandes fenómenos atmosféricos, que observamos, resultan de las sustancias estrañas que pueden ser ó lentamente acumuladas ó súbitamente quitadas ó suspendidas en los aires. Estas *sustancias meteóricas*, deben ser, pues estudiadas con una atencion particular en su orígen, en sus propiedades y en las diversas apariencias bajo las cuales se pueden presentar.

»Para simplificar todo lo posible, un estudio que abraza tantas cuestiones difíciles, adoptarémos las divisiones siguientes.

»Nos ocuparémos sucesivamente

»De la higrometría.

»Del sereno y del rocío.

»De la escarcha y de la helada.

»De las nieblas y de las nubes.

»De la lluvia, nieve, granizo, y agua-nieve ó nevisca.

391 Pág. 729 »*Construccion y uso de los higrómetros.* La Higrometría tiene el doble objeto de medir la fuerza elástica del vapor que existe en el aire, y determinar la accion que los diversos cuerpos de la naturaleza pueden ejercer sobre este vapor. Esta segunda parte ofrece necesariamente una multitud de fenómenos que no se pueden considerar aquí sinó de un modo general; así nos contraerémos particularmente á la primera parte que presenta una cuestion clara y precisa.

»Todos los instrumentos que sirven para medir la fuerza elástica del vapor contenido en el aire se llaman *higrómetros*; pero entre estos instrumentos es necesario distinguir los que dan inmediatamente esta medida y los que no la pueden dar sinó de una manera indirecta y por deducciones mas ó ménos inciertas. Los primeros pueden llamarse *higrómetros de condensacion*, porque todos los que son conocidos hasta ahora se fundan en la condensacion del vapor convenientemente enfriado; los segundos pueden llamarse *higrómetros de absorcion*, porque todos estriban sobre la absorcion del vapor por medio de diversas sustancias.

»*Higrómetros de condensacion.* Concibamos un vaso cilíndrico de vidrio, lleno de agua, teniendo sus paredes perfectamente trasparentes, claras y bien limpias; supongamos que se coloque sobre un apoyo ó sobre una tabla en un parage cuya temperatura sea por ejemplo de 20°, y que él mismo tenga la espresada temperatura. Todos saben que si el agua contenida en este vaso es gradualmente

enfriada á 19°, despues á 18°, luego á 17°, &c., llega un instante en que se altera la trasparencia de todo punto; y cuando se mira con atencion, se percibe que este fenómeno se debe á un rocío muy fino que se ha depositado sobre las paredes del vaso. Si el *punto de rocío* (así se llama el instante preciso en que el rocío principia á depositarse), se verifica por ejemplo, á 15°, es decir, en el momento en que el agua del vaso obtiene la temperatura de 15°, se concluirá de ello, que la fuerza elástica del vapor contenido en el aire es de 12,837 milímetros (6,637 líneas esp.), fuerza elástica *máxima* para la temperatura de 15° (que se nota en la tabla del § 359); si tiene lugar á 12°, se concluirá que el vapor tiene una fuerza elástica de 10,707 milímetros (5,536 líneas esp.), á 10°, una fuerza elástica de 9,475 milímetros (4,899 líneas esp.); en una palabra, la fuerza elástica del vapor contenido en el aire es siempre la fuerza elástica máxima correspondiente á la temperatura del punto de rocío. En efecto, la capa de gas que cubre las paredes esteriores del vaso, se enfria del mismo modo que lo hacen estas paredes mismas; y todo al enfriarse por su contacto, conserva su elasticidad total, que es medida por la altura del barómetro; pero hay mas, los dos elementos que componen esta capa de gas, á saber, el aire y el vapor, conservan cada uno su elasticidad parcial; pero en el instante en que este vapor principia á condensarse, tiene la fuerza elástica *máxima* correspondiente á la temperatura de *condensacion*. Luego esta fuerza elástica es la que tenía ántes del enfriamiento, y por consiguiente la fuerza elástica buscada.

»Tal es el principio simple y rigoroso sobre el cual está fundada la construccion de los higrómetros de condensacion. Todo se reduce á observar exactamente la temperatura del *punto de rocío*, y á buscar en las *tablas* (la que hemos puesto § 359) la fuerza elástica correspondiente......

»Así la fuerza elástica del vapor contenido en el aire es 5,059 milímetros (2,616 líneas esp.) cuando el *punto de rocío* está á 0°; ella es de 9,475 (4,899 líneas esp.) cuando está á 10°; de 17,314 milímetros (8,951 líneas esp.) cuando está á 20°; de 30,643 milímetros (15,842 líneas esp.) cuando está á 30°, &c. Y estos resultados son completamente independientes de la temperatura ambiente; solo se debe considerar que si es casi igual á la temperatura del punto del rocío, el aire estará casi *saturado de vapores ó saturado de humedad*; y si al contrario, escede mucho á la del punto de rocío, el aire estará muy seco. Tomemos un ejemplo; supongamos que se

hayan hecho cuatro esperimentos: el primero en invierno, para una temperatura de 0°; el segundo en la primavera, para una temperatura de 20°; el tercero en estío para una temperatura de 30°; y el cuarto en otoño para una temperatura de 20°.

»Y supongamos que se haya encontrado constantemente el punto de rocío á 0°; se deberá concluir, que, en estos cuatro esperimentos el aire atmosférico contenía la misma cantidad de vapor, y que la fuerza elástica de este vapor era de 5,059 milímetros. Pero conteniendo la misma cantidad de vapor, el aire tenía, sin embargo, grados de humedad bien diferentes: en el primer caso, estaba *muy húmedo* y casi saturado de humedad; en el segundo caso, estaba ya muy *seco*; en el cuarto *escesivamente seco*; en cuanto al tercer caso es una *sequedad tan grande* que jamas, puede ser, se haya observado en la atmósfera. Así es, que la comparacion de los grados de humedad, es cosa diferente de la comparacion de las cantidades de vapor. En estío, para 30° de temperatura, el aire es seco cuando el punto de rocío está á 15°, ó á 20°, y por consiguiente, cuando la cantidad de vapor contenida en el aire es cuatro ó cinco veces mayor que no lo es en invierno para un tiempo completamente húmedo.

392 Pág. 745 »*Del sereno.* El sereno es una pequeña lluvia fria que cae algunas veces sin que se perciba ninguna nube en el cielo. En nuestros climas, este fenómeno se manifiesta solamente durante el estío, y casi siempre al ocultarse el sol; se observa sobre todo en los valles, ó en los llanos bajos, á una pequeña distancia de los lagos y de los rios, es mucho mas rara en los lugares elevados. Una lluvia sin nube parece al principio un fenómeno imposible; pero basta un instante de reflexion para convencerse de su posibilidad y aun para concebir la causa.

Durante el calor del dia, todos los cuerpos húmedos dan una gran cantidad de vapores, que se esparcen en el aire, sin turbar la trasparencia; supongamos por un instante, que hácia las 5 ó las 6 de la tarde, la temperatura del aire atmosférico sea, por ejemplo de 20°, y que la fuerza elástica del vapor que contiene, sea de 13 milímetros (6,72 líneas esp.); entónces el sol continuando acercándose al horizonte, la temperatura ambiente se baja, sin que la fuerza elástica del vapor sufra mudanza; y cuando este descenso llegue á 14 ó 15°, el vapor no puede ya existir en totalidad, pues que tendría una fuerza elástica mayor que el *máximo* que conviene á esta temperatura (véase la tabla § 359); es necesario, pues, que se condense una parte; y esta condensacion es la que produce el fe-

nómeno del *relente ó sereno.* Se ve, pues, que depende de dos elementos, á saber, de la temperatura ambiente y de la fuerza elástica del vapor que existe en el aire; y la condicion de su formacion es que la temperatura baje mas de lo que conviene á la fuerza elástica del vapor.

»Determinando el punto de rocío con un higrómetro, y siguiendo con un termómetro la ley del enfriamiento del aire, se podría predecir sobre poco mas ó ménos el instante en que el sereno debe empezar, é indicar su intensidad.

393 »*Rocío.* Todos los fenómenos del rocío son consecuencia de las leyes de la higrometría y de las de la radiacion nocturna........ El Doctor Wells......*.

Pág. 746......En las circunstancias mas favorables un cuerpo puede bajar 8 á 10 grados mas que la temperatura del aire.

Pág. 747 »Admitamos por un momento que la fuerza elástica del vapor que existe en el aire sea de 7 milímetros (3,618 líneas españolas); como esta fuerza elástica viene á ser el *máximo* correspondiente á 5 grados de temperatura, es evidente que todos los cuerpos terrestres que están á una temperatura mas baja habrán condensado las capas de vapores que han venido á estar en contacto con ellos, y que estarán por consiguiente mas ó ménos cubiertos de rocío. Al contrario, todos los cuerpos que han conservado una temperatura mas alta que 5 grados permanecerán perfectamente secos; pues que el aire húmedo que les toca no se habrá enfriado hasta el punto en que el vapor está obligado á condensarse.

»Así, en último resultado, durante las noches en calma y serenas, todos los cuerpos terrestres deben ser asimilados al higrómetro de cápsula ó al higrómetro de *Daniell*, es decir, que si se enfriasen debajo del punto de rocío, se cubren de vapores condensados, y en el caso contrario, permanecen secos. La única diferencia es que las paredes de los higrómetros se enfrian por la evaporacion del eter, mientras que la superficie del suelo y todos los cuerpos terrestres se enfrian por radiacion hácia los espacios celestes. Pero estas dos causas diferentes producen aquí el mismo efecto, pues que la condensacion del vapor es una consecuencia de la depresion de temperatura.

394 »La *escarcha* se observa en nuestros climas durante las frescas mañanas de la primavera y del otoño. Su causa es la misma que la del rocío, porque la escarcha no es otra cosa que el ro-

---

* Repite lo que ponemos en la nota del § 528 II C.

cío congelado. Cuando el cielo está sereno, el aire en calma y húmedo, y la temperatura de la noche es solamente de 4 á 5° sobre cero, ciertos cuerpos pueden bajar por la radiacion á una temperatura inferior á cero, y entónces las gotas de rocío, de que están al principio cubiertos, cristalizan en pequeñas agujas que se entrelazan de mil maneras. La esposicion del sitio puede ser tenga mas influencia aun sobre la formacion de la escarcha que sobre la del rocío; porque una vez que los cuerpos están revestidos de una capa de rocío suficientemente espesa, tienen el mismo poder radiante, y su enfriamiento ulterior se verifica segun las mismas leyes.

Pág. 750.......» Todas las circunstancias que favorecen la formacion del rocío ó de la escarcha son por consiguiente las que favorecen la formacion de la helada; y recíprocamente todos los medios que pueden retardar la formacion de la escarcha ó del rocío pueden retardar ó aun impedir la helada.

» Así, una simple gasa estendida encima de las plantas delicadas es muy frecuentemente una precaucion suficiente para resguardarlas de un enfriamiento mortífero. El humo sería tambien un medio eficaz *. No se trata de calentar las plantas que se quieren conservar, es necesario impedir solamente el que se enfrien por la radiacion. En virtud de este principio, se deben combinar los medios de conservacion segun las localidades.

395 Pág. 751 » *De la niebla y de las nubes.* Las nieblas se forman en el aire húmedo cuando la fuerza elástica del vapor es mas grande que la fuerza elástica *máxima* correspondiente á la temperatura del aire.

» El humo que se levanta sobre una vasija llena de agua caliente es una verdadera niebla; la cual se forma indispensablemente si estando el aire por ejemplo á 20°, el agua lo está á 60°, pues la fuerza elástica que corresponde á 60° no puede existir á una temperatura de 20°; por lo cual es necesario que se condense en parte hasta que su fuerza elástica se convierta en la que corresponde á 20° de temperatura. La niebla será, pues, tanto mas intensa cuanto la temperatura del agua sea mas elevada sobre la temperatura del aire, y cuanto el aire mismo se halle mas húmedo, pues que si estuviese saturado, será necesario que todo el vapor nuevo se condensase á medida que se forma.

* En mi concepto, sería mejor que todo, el vapor del agua distribuido con oportunidad, ó los otros medios que propondrémos en el capítulo 5.° del libro 8.°

»Las nieblas que se forman sobre el mar, sobre los lagos, sobre los arroyos, y sobre los rios tienen precisamente el mismo orígen: muchos observadores se han asegurado por esperimentos directos, de que en el momento de la formacion de las nieblas, la temperatura del aire es siempre menor que la temperatura del agua. Sin embargo, esta condicion, que es siempre necesaria, no siempre es suficiente. Cuando el aire es seco, y está muy agitado, lleva el vapor, y lo dispersa en el instante en que se forma, sin que de él resulte una condensacion sensible; pero cuando el aire está en reposo, y ya húmedo, el vapor se eleva lentamente, y se condensa casi en totalidad: esto es lo que sucede precisamente cerca de las fuentes durante el invierno.

»Se observan bastante frecuentemente nieblas en circunstancias que parecen de todo punto diferentes. Por ejemplo, en el momento del deshielo, cuando la temperatura del aire es sensiblemente mucho mas alta que la temperatura del agua, se ven aun nieblas muy intensas formarse sobre los rios, aun cuando ellos estén cubiertos de hielos; pero solo se mudan las apariencias; el principio es el mismo. Efectivamente, en este caso, el aire caliente se halla saturado de humedad; y cuando viene á mezclarse al aire que se ha enfriado por el contacto del hielo, ó por el contacto de los demas cuerpos frios, su vapor se condensa.

»La misma causa es la que produce aun las nieblas sobre los rios durante el estío, despues de la lluvia de tempestad. El aire es mas caliente que la superficie del agua; pero él está saturado de humedad, y desde que se halla en la proximidad de los lugares donde la frescura del rio se hace sentir, es necesario que su vapor se condense, pues que se enfria.

»En general la mezcla de dos aires saturados de humedad, calentados con desigualdad, produce esencialmente niebla; porque la temperatura media, que de ella resulta, es demasiado baja para contener la fuerza media elástica del vapor. Por ejemplo, si una cantidad de aire saturado de humedad á 5° se mezcla con igual cantidad de aire saturado de humedad á 15°, la temperatura media resultará 10°; pero la fuerza elástica que corresponde al término medio es mayor que la fuerza elástica *máxima* correspondiente á dicha temperatura de 10° *; por lo que es indispensable que el

* Por la tabla del § 359 resulta que la fuerza elástica ó tension del vapor á 5°, está representada por 3,592 líneas esp., y la correspondiente á 15° lo está por 6,637 líneas esp. El término medio entre estas

esceso de vapor que resulta en la mezcla sobre el que se puede contener en el grado medio de temperatura se condense en forma de niebla.

»Las nubes no son otra cosa que un conjunto de nieblas mas ó ménos espesas, que se acumulan hácia un mismo parage en virtud de las corrientes atmosféricas, y que se hallan suspendidas á diversas alturas, algunas veces inmóviles, y lo mas frecuentemente trasportadas por corrientes de aire ó por vientos impetuosos. Todas las nieblas, que se forman en la superficie de la tierra, y en los lugares húmedos, en el fondo de los valles, sobre las colinas, al rededor de los picos elevados, ó de las cimas de las montañas nevadas, vienen á ser nubes cuando son trasportadas por los vientos sin dispersarse; pero las nubes pueden tener tambien otro orígen, se pueden formar directamente en medio de los aires, ya por el concurso de dos vientos húmedos desigualmente calientes, ya por la condensacion de los vapores, cuando se elevan en abundancia á regiones que son demasiado frias para contenerlos en el estado elástico *.

---

dos tensiones es (§ 253 Aritm. de Niños) 5,1145 lín. esp. Y como por la citada tabla corresponde á la temperatura media de 10° solo una tension espresada por 4,899 lín. esp., es preciso que haya condensacion de vapor hasta quedar solo con dicha tension.

* Con el fin de comprobar con la doctrina que acabamos de esponer, cuanto hemos dicho en la Introduccion, y el libro 1.° vamos á contraernos á la situacion geográfica de nuestra Península. Para esto, nos basta observar que si pasamos la vista por el mapa de España, notarémos que entre las costas del Océano, en las Provincias Vascongadas, Asturias y Galicia, y las del Mediterráneo en las de Andalucía, se observan cinco cadenas de montañas ó grandes cordilleras, cuya direccion es en general de oriente á poniente. De aquí resulta que el aire que corresponde á la zona mas meridional que una córdillera está mas caliente que el aire de la zona que la misma cordillera tiene hácia el norte; y como los vapores acuosos pesan ménos específicamente que el aire atmosférico (§ 468 II C.) se elevan á mucha altura, y cuando llegan á una region mas alta que la cima de las mismas montañas, el aire y vapores de ambas zonas se ponen en contacto, y se condensa parte del vapor: resultando la formacion de las nubes, y despues los metéoros acuosos en los parages de reunion ó contacto del aire de ambas zonas, que es precisamente el parage que ocupan las montañas.

Se verifica tambien otra circunstancia muy esencial para el objeto que nos ocupa, y es que á veces el calor del sol en diversas circunstancias y localidades, no solo evapora el agua, sinó que la descompone en sus dos principios (§ 381 II C.) *hidrógeno* y *oxígeno*; el hidrógeno pesa mucho ménos específicamente que el aire atmosférico (§ 475 II C.), y se eleva por consiguiente á las regiones mas altas de la atmósfera, y cuando se llega á inflamar por medio de la electricidad, entónces resultan las tempestades que se verifican, ó al ménos tienen su principio casi siempre en las montañas. Así es, que en cualquiera punto de

Se admite en general que los vapores que constituyen las nubes son vapores vesiculares, es decir, montones de pequeños glóbulos llenos de aire húmedo, de todo punto análogos á las búrbujas de jabon. Estos glóbulos se distinguen muy bien á la simple vista, en las nieblas que se levantan sobre el agua caliente: y particularmente sobre la superficie de una disolucion negra como el café. Su densidad es esencialmente mayor que la del aire *.

Así, para estos trece años, la cantidad media de lluvia que cae anualmente en París en el patio del Observatorio es de 56 centímetros (279 líneas esp.), mientras que la cantidad media que cae sobre la azotéa es solamente de 50 centímetros (258 líneas esp.).

» Esta diferencia no es efecto de la casualidad, pues tiene lugar cada año en el mismo sentido y casi en el mismo valor. De donde resulta este hecho notable, que *en París la cantidad de lluvia que cae* á 28 metros de altura (100 pies esp.), no es sinó los $\frac{8}{9}$ sobre poco mas ó ménos que la que cae sobre el suelo.

» Se presume que este fenómeno depende en gran parte de la condensacion que las gotas de lluvia fria determinan en el vapor, atravesando las capas inferiores de la atmósfera, y puede ser tambien de las nieblas que son siempre mas densas en la superficie del suelo, y que depositan una cantidad de agua notable.

» Los observadores no deben solamente aplicarse á determinar las cantidades medias de lluvia, sinó á verificar los términos medios mensuales, porque ellos tienen una influencia mas directa sobre las cosechas.

396 » Las lluvias muy abundantes no merecen ménos atencion:

---

nuestra Península que nos situemos, hallarémos hombres esperimentados, y de buen seso, que nos indiquen como signo de lluvia ó tempestad, &c., el aparecimiento en tales ó tales montañas de ciertas nieblas ó nubes con circunstancias ó caractéres que suelen describir con mucha exactitud; y que por lo general son signos infalibles, ó al ménos sumamente probables de los fenómenos indicados.

* Esto no puede ser; porque entónces descenderían en virtud de las leyes de la Hidrostática. En mi concepto, el vapor acuoso al condensarse formando estas vejiguillas, puede dejar en lo interior un cierto espacio vacío, por el cual resulten específicamente mas ligeras que el aire atmosférico, á pesar de que su cubierta esterior sea mas pesada que el espresado aire. Puede suceder tambien que como en la atmósfera en circunstancias particulares hay una cierta cantidad de hidrógeno, quede esta encerrada en las vejiguillas, y las haga ménos pesadas que el aire; y que segun la mayor ó menor cantidad de hidrógeno que contengan se eleven mas ó ménos. Si los Físicos fijasen su atencion en estas idéas, llegarían á esplicar muchos fenómenos relativos á las tempestades, &c., con mas exactitud de lo que se hace al presente.

en las circunstancias, que las acompañan, es donde se pueden buscar las verdaderas causas de la formacion de la lluvia, y puede ser tambien los principios de la formacion de las nubes.

»Citarémos aquí algunos hechos notables sobre este particular.

»En Bombay, han caido en un solo dia (el 24 de julio de 1819) 16 centímetros de agua (unas 83 líneas esp.) casi el tercio de la que cae en París en el trascurso de un año.

»En Cayena, el Contra-almirante *Roussin* ha visto caer el 14 de febrero, en el término de diez horas, mas de 28 centímetros de agua (algo mas de un pie esp.); que es precisamente la mitad de la que cae en París durante el año.

»En Génova, por un turbion que parecía ocasianado por una manga, cayeron el 25 de octubre de 1822 hasta 82 centímetros (cerca de 3 pies esp.). Este es uno de los resultados mas notables que se pueden citar en este género."

Nosotros añadiríamos aquí de buena gana los resultados de observaciones hechas en España; mas por desgracia, todavía no se halla tan estendido como conviene el espíritu analítico y de observacion; y solo sabemos la existencia de lluvias estraordinarias por los estragos que causan, de que los periódicos y particularmente los de este año de 1831 hablan con tanta frecuencia. Pero todo esto no da ninguna luz para investigar los medios, no solo de remediar los males que dichas avenidas causan, sinó de hacer provechosa para la Industria y Agricultura esta misma cantidad de agua; y como el objeto principal de esta obra es conseguir este resultado, he visto cuanto puede conducir á examinar cual es la mayor cantidad de lluvia que de una sola vez en un tiempo determinado puede caer en España; y como no existen observaciones adecuadas, he inquirido lo que se puede inferir de las observaciones hechas en parages cuya situacion *físico-geográfica* difiera ménos de la de nuestra Península; y la que mas se aproxima á las localidades de España, son las de Marsella; por lo que insertarémos aquí las mas notables que hemos podido recolectar.

El 17 de setiembre de 1772, se recogieron en el Observatorio de Marsella, 10 pulgadas de agua en 12 horas; pero 7 á 8 pulgadas cayeron en ménos de dos horas: todo el territorio se inundó.

El 29 de julio de 1783 cayeron en el mismo Observatorio desde las 10 á las 12 del dia 5 pulgadas y 1 línea de agua.

Este género de observaciones son de la mayor importancia; pues con este dato y el de hallar la superficie del terreno cuyas vertientes

vayan á un álveo determinado, se puede calcular ó la magnitud que debe tener dicho álveo, si se quiere que se escapen las aguas sin producir utilidad, ó las de los depósitos destinados á contenerlas para el uso conveniente; y cuya idéa tenemos manifestada desde el año de 1819, segun aparece en el Mercurio de diciembre de 1824, al hablar del proyecto del Guadalix, pág. 683 y siguientes. De manera, que no tengo la menor duda, de que siguiendo el rumbo que prescribo en esta obra, no solo se evitarán los perjuicios tan considerables de las avenidas, sinó que se sacará un beneficio muy estraordinario de ellas, que cooperará al bien y prosperidad de nuestro pais y felicidad de todos los Españoles. ¡Ojala que se realicen mis deséos con tanta brevedad como exige su importancia!

LIBRO CUARTO.

Noticias históricas acerca de la Arquitectura Hidráulica, y estado actual de la construccion de las obras en el agua; sucinta enumeracion de los inconvenientes que dicha construccion presenta en el dia; y nuevo método, escogitado por mí, para este género de construcciones.

1 La construccion de las obras hidráulicas ha sido en todas las épocas, en todos los paises, y en todas las circunstancias, el asunto que mas ejercicio ha ofrecido á la meditacion y sabiduría de los Arquitectos civiles, militares é hidráulicos, de los Ingenieros, y demas personas que se han tenido que ocupar de las edificaciones en el agua *. Y en efecto, es una materia, en que parece no basta la ciencia, el talento, ni las precauciones; pues que el agua, semejante al fuego en esta parte, se aprovecha del menor descuido, y destruye en un instante obras de siglos enteros, y en que se han gastado inmensos capitales.

* En prueba de que no exageramos, pondrémos aquí algunas sentencias de los mas antiguos y célebres escritores. Ovidio de Arte &c. Libro 1.º, dice:

Quid magis est durum saxo, quid mollius undá?
Dura tamen molli saxa cavantur aquá;

que quiere decir: *¿Qué cosa mas dura que la piedra, qué mas blanda que el agua? Sin embargo la dura peña se deshace con la blanda agua.*

El mismo Poeta. De Ponto Lib. IV, Eleg. X.

Gutta cavat lapidem, consumitur annulus usu;

que quiere decir: *La gota de agua deshace la piedra, así como el anillo se gasta con el uso.*

En el *Gradus ad Parnassum*, en la palabra *Gutta*, se pone:

Gutta cavat lapidem non vi sed sæpè cadendo;

que quiere decir: *La gota ablanda la piedra, no por su fuerza, sinó por su contínuo golpe.*

Dichas obras desairan á las personas mas instruidas; pues, aunque se trabaje en ellas con el mayor esmero, se proceda con el mejor deséo, se ponga en ejercicio la mayor inteligencia, la mas escrupulosa vigilancia, y cuanto pende del hombre en lo intelectual, en lo físico y en lo moral, sucede una avenida cuando ménos se espera, y se pierde en un instante el capital empleado, y el fruto de las mas penosas fatigas y mas serias meditaciones.

2 Yo me hallo persuadido de esta verdad, bien á pesar mio, desde mi mas tierna edad; pues una terrible avenida hizo desaparecer en un momento una perspectiva halagüeña, un dichoso porvenir para toda mi familia; y el producto de todos los conatos y de grandes sumas, quedó destruido en un solo instante, y nosotros sumergidos casi en la indigencia. Por esta causa, desde que me dediqué al estudio de las Matemáticas, ha formado en todas épocas el objeto preferente de mis investigaciones, el examinar si habría medios de precaver tanto mal; y si no me engaño, he logrado por fin escogitar *una nueva construccion de obras hidráulicas, mas económica, sólida y permanente que las conocidas hasta el dia; acomodada á nuestra situacion geológico-topográfica; y que concilia el sistema de riegos, pesca, navegacion interior y aplicaciones industriales.*

3 Pero, como á la par de la importancia de las empresas, son las dificultades de su logro, no estrañaré el que se reputen como temerarios mis asertos. Mas á fin de presentar este nuevo método, de modo que convenza y sea inteligible, dividiré este libro en cuatro capítulos. El primero contendrá las noticias históricas y doctrina necesaria para dar á conocer el estado actual de la Ciencia en las construcciones hidráulicas. El segundo presentará bajo un punto de vista los inconvenientes que ofrece en el dia la espresada construccion. En el tercero, manifestaré la serie de ilaciones que me han conducido, desde el acontecimiento enunciado, en que se me quedó fija la idéa, hasta el punto de haber concebido la espresada construccion; indicaré los ensayos que tengo hechos, y explicaré el modo de realizar esta idéa en la construccion de las principales obras hidráulicas. Y en el cuarto designaré los parages de España en que con mas ventaja y utilidad se debería poner en ejecucion, al ménos por via de ensayo.

CAPITULO I.

Noticias históricas acerca de las construcciones hidráulicas, y doctrina mas importante para que se forme la competente idéa de su actual estado.

4 Repetidas veces hemos espresado, que si es posible sustituir á nuestras propias idéas, las de otras personas de mas saber ó esperiencia, preferiríamos constantemente el tomar de otros libros lo que mas pueda conducir á nuestro intento. Por esta causa, hemos juzgado prudente, oportuno y necesario, ántes de esponer nuestro método, indicar lo mas indispensable para que se forme una justa idéa de los procedimientos que ofrecen los métodos mas exactos del dia, con todo lo que pueda contribuir á facilitar el tránsito para lo que propongo, de modo que se pueda desde luego realizar ó poner en ejecucion.

La dificultad que presenta la construccion de las obras, que se edifican en el agua, ha originado sin duda, el que aun los Escritores de Arquitectura mas famosos en la antigüedad, no se hayan atrevido á ocuparse de esta importante materia.

Así es, que Vitrubio se ocupó bien poco de este asunto. En Palladio se ve ya alguna cosa relativa á los puentes, estableciendo que *el número de arcos debe ser impar, y que el grueso de los machones no debe ser mayor que la cuarta parte de la abertura de los arcos, ni menor que la sexta parte; y en los puentes que proyectó, la planta de los tajamares tanto anteriores como posteriores al machon, era un triángulo casi rectángulo, que presentaba el ángulo mayor á la corriente de las aguas.*

El capítulo 6.° del libro 4.° de los diez que escribió *Leon Bautista Alberti*, es relativo á puentes, y principia de este modo. "La puente es la principal parte del camino".......Esta obra fué traducida del Latin al Español por *Francisco Lozano*, Profesor de Arquitectura en Madrid, quien la publicó en 1582. En la segunda edicion, hecha en 1797, se espresa en el prólogo del editor, llana 2ª. "No obstante, esta obra tan recomendable y útil está sin duda hace mucho tiempo como olvidada."

La obra mas antigua, que yo conozco, escrita desde luego en Español, que trate sobre tan interesante asunto, es la de *Fr. Lorenzo*

de San Nicolas, Agustino Descalzo, Maestro Arquitecto, cuyo título es *Arte y uso de Arquitectura.* Se han hecho de ella hasta cuatro ediciones; la 1.ª no se encuentra, por lo que se ignora el año preciso de su publicacion. Mas si se atiende á que en la segunda, que se hizo en 1667, se hallan las aprobaciones dadas á esta obra y la licencia para su impresion con la fecha de 1633, se debe inferir que su publicacion fué aproximadamente por la misma época. La 3.ª impresion se verificó en el de 1736; y la 4.ª en 1796.

El capítulo 61 de esta obra, pág. 168 del tomo 1.°, cuarta edicion, trata *del sitio conveniente para las puentes y de su fábrica*; el cual empieza asi: "Muchas son las particularidades que hay que advertir en una puente; y como de suyo sea el edificio de una puente, árduo y dificultoso no tanto por su fábrica, cuanto por su conservacion, por esto conviene que en el plantarla seas muy considerado."

Y debemos manifestar, que es muy juicioso cuanto dice, y que no estractamos, porque esta obra debe tener todavía un lugar distinguido en la biblioteca de toda persona que se ocupe de estas materias. Dicho Autor, segun los inteligentes que han reconocido sus obras, fué un grande hombre en su tiempo, como lo atestiguan muchos edificios suyos, que aun se conservan en Castilla la Vieja, y particularmente en Salamanca &c.

5 Posteriormente á esta obra, se publicó en Francia en 1728 otra intitulada *Tratado de los Puentes por Mr. Gauthier*, y en el prefacio se lée lo siguiente:

"Los Autores, que han tratado de la Arquitectura, no han dado reglas para construir los puentes.......suponen que todo Arquitecto, que no ignora su profesion, debe saber todo lo que concierne á los puentes. Algunos como Scamozzi, Paladio, Serlio &c., han dado modelos de puentes de madera y de mampostería. Vitrubio y Viñola nada han tratado. He sacado de todo lo escrito sobre este particular, cuanto ha podido convenir á mi objeto, y refiero todo lo que han publicado y hecho en esta materia, cuando he creido que esto podía servir de algo al Público. El objeto de los puentes es bastante estenso para dar ocupacion á los mas hábiles &c......Hasta aquí nadie ha tratado esta materia con la atencion que merece".........

Dicho Autor espone luego todo lo relativo al objeto con alguna estension, presentando dibujos de algunos puentes de Francia.

6 El Español *Belidor* * publicó en 1737 el primer tomo de su

* Aunque se ha creido generalmente que *Belidor* era frances, debe-

Arquitectura Hidráulica; el segundo en 1739; el tercero en 1750 y el cuarto en 1753; y se puede asegurar que hasta dicha época la construccion de las obras en el agua no presentaba un cuerpo uniforme de doctrina. La mencionada obra tiene por otra parte la circunstancia, sumamente apreciable, de que todo lo que en ella se espresa, ó al ménos la mayor parte, se ha puesto en ejecucion con buen éxito; y por consiguiente debe inspirar hasta cierto punto, una completa confianza; pues en cosas relativas á la práctica, es de la mayor importancia el saber si la esperiencia corresponde á la teoría.

En el prefacio del primer tomo de la 1.ª parte, hace mucho aprecio de la obra de *Mr. Frezier* sobre el *corte de piedras*.

En el prefacio del primer tomo de la 2.ª parte dice: Pág. II.

"El agua es un terrible elemento, que hay que sostener; cuando se trata de establecer sólidamente obras de consecuencia, á pesar de los furores del mar ó las corrientes impetuosas de los rios caudalosos, ¿qué inteligencia, destreza y constancia, no se necesita para conseguir el objeto?"

En el mismo prefacio pág. IV, dice: "Estas reflexiones son las que nos han obligado á hacer, por espacio de mas de 30 años, investigaciones sobre todo aquello que podía ponernos en estado de tratar una materia tan importante.

»No hemos omitido con este objeto, trabajo ni gasto, habiéndonos trasladado muchas veces, de propio intento, á nuestros principales puertos de mar........Hemos recorrido los Paises-Bajos Austriacos y la Holanda, para apropiarnos las cosas que intentábamos dar á conocer."

Pág. VI del mismo prefacio dice:

"Bien sabido es que los que han escrito de Arquetectura con mas precision, han deducido sus principios de los mas bellos monumentos antiguos, que citan como ejemplos: nosotros del mismo modo hemos deducido nuestras reglas, de las esclusas mas magníficas construidas en Dunkerque, Mardieck, Calais, Gravelines, Ostende, Bousingue, Cherbourg, &c. Darémos á conocer sus propiedades principales, deduciendo reglas generales en lo posible de las cosas que, en particular han surtido buen efecto."

Pág. XIII del mismo prefacio dice:

"Sería faltar á la gratitud, si pasásemos en silencio, que somos

---

mos notar, que en la vida de este Sabio, inserta en la edicion de su *Ciencia de Ingenieros*, impresa en 1813, se dice que nació en Cataluña el año de 1698.

deudores á *Mr. de Segent*, ingeniero en Dunckerque de los mas interesantes dibujos que presentamos de esta plaza......Tambien somos deudores de mucho á *Mr. de Caux*, ingeniero en gefe de Cherbourg, que nos ha ayudado mucho con sus luces."

En el prefacio del tomo segundo de la 2.ª parte, llana 2.ª, dice: "Debo tambien mucho á la lectura de una Memoria manuscrita sobre las propiedades de los puertos de mar, presentada al Rey Felipe V por *Mr. Flobert*, ingeniero en gefe al servicio de la España, tan conocido por las brillantes operaciones que le han distinguido en las últimas guerras de Italia y otros paises."....

7 En Inglaterra se publicó, despues de la obra de Belidor, otra sumamente apreciable por *Juan Muller* intitulada *Tratado de fortificacion* ó *Arte de construir los edificios militares y civiles*; la cual se tradujo al castellano, y aumentada con notas y adiciones por el capitan de infantería é ingenieros *don Miguel Sanchez Taramas*, se imprimió en 1769.

Este apreciable Militar añadió, á lo que dice *Muller*, aquella parte mas conducente de la obra de *Belidor*; y tuvo la feliz idéa de españolizar, digámoslo así, lo mas esencial á su objeto: añadiendo una gran copia de noticias útiles sobre esta materia, relativas á España, que, á la verdad se hallan mas apreciadas acaso de los estrangeros que de nosotros mismos.

La primera parte de dicha recomendable obra, contiene la teoría de los muros, arcos y maderas; la segunda, el conocimiento de los materiales, sus propiedades y modo de emplearlos; la tercera, el modo de trazar una fortaleza sobre el terreno, formar el cálculo y ejecutar las obras, poniendo al fin una seccion, añadida por Taramas, sobre la construccion de los pozos y cisternas, tomada de *Belidor*, y en que se da noticia de los pozos taladrados (*Puits forés*), que ahora se caracterizan con el nombre *de pozos artesianos* ó *fuentes ascendentes*.

La parte cuarta, por donde principia el 2.º tomo, se halla dividida en tres secciones. La primera trata de los puentes de piedra *,

* En prueba de nuestra imparcialidad, y de que lo que elogiamos es solo porque nos parece digno de ello, debemos advertir que el principio de la seccion 1.ª, dice: "La situacion de los puentes es tan fácil de discernir que casi no necesita esplicacion." Esto, en nuestro concepto, dista mucho de ser verdadero; pues es asunto muy delicado y de la mas seria meditacion. Igualmente debemos advertir que la tabla de la pág. 16 del segundo tomo, que contiene las dimensiones de los pilares para los puentes, aunque reconocida exacta en su tiem-

del modo de hallar el espesor de los pilares ó machones, que deben sostener los arcos de un puente; y el de formar la curva esterior de un arco elíptico, en el que se quiere que las dovelas estén mútuamente en equilibrio; lo que se ha de observar en la construccion de un puente, y para fundarle con cajones. En una importante adicion sobre la fábrica de los puentes, describe el que hay en Cataluña, sobre el rio Llobregat en las inmediaciones de Martorell, al que los naturales llaman *puente del Diablo*. Despues habla muy detenidamente del puente de Alcántara, establecido sobre el rio Tajo, en la provincia de Estremadura, y considera tambien como de primer órden los puentes de Badajoz y de Mérida sobre el Guadiana. Habla igualmente del de Medellin; del de Córdoba sobre el Guadalquivir; del de Zamora sobre el Duero; de los de Zaragoza y Logroño sobre el Ebro; del de Orense sobre el Miño; del de Almaraz ó Albalat sobre el Tajo en Estremadura; del de Segovia y Toledo sobre el Manzanares en las inmediaciones de Madrid; del que se halla en el camino de Aranjuez á Madrid, sobre el Jarama; y concluye esta

---

po, en el dia se reputa por demasiado el grueso que da para los pilares ó machones, y es de suma importancia que tengan únicamente lo preciso. Este no es un defecto solo de Taramas; pues si se observan con atencion todos los puentes construidos hasta la época en que dicho Autor escribió se advertirá, que sus Autores parece han llevado por máxima la de *hacer gruesos los machones y pequeños los arcos*; siendo así que debia verificarse lo contrario, para que el puente, dejando libre el paso á mayor cantidad de aguas, estas le perjudicasen ménos. El primer puente en que se proscribió esta especie de máxima fué el de *Neuilly*, construido sobre el Sena por el inmortal *Perronet*, á unas dos leguas de París. Aseguro con la mayor ingenuidad, que he pasado muchas horas en diferentes épocas para reconocer el espresado puente, que se debe considerar como el modelo de todas las construcciones modernas, y que me convencí, á su vista, de la valentía y grandeza de alma que necesitó *Perronet* para construir un puente en la parte de mas nombradía en las inmediaciones de París, cual es la proximidad del famoso *Bois de Bologne*, separándose tanto de la rutina ordinaria.

Mr. Chezy corrió, bajo la direccion de Perronet, con la vigilancia en su construccion. Dicho puente se principió en 1768, y se acabó en 1774. Está colocado en la direccion del eje del palacio de las Tullerías, y la arboleda de en medio de los campos Elíseos. Consta de cinco arcos en *ansa de panier* (de que hablarémos (§ 24 y siguientes)) rebajada al cuarto. Siendo su abertura de 39 metros (140 pies esp.) Sus arranques están colocados al nivel de las aguas bajas, y quedan todavía 2,27 metros (8,15 pies esp.) de intervalo entre las altas aguas, y la clave de las bóvedas. El grueso de los machones ó pilares es solo de 4,22 metros (15,15 pies esp.), la planta de sus tajamares anteriores y posteriores es un semicírculo, y están ligeramente bombeados hácia el medio de su altura. Los estribos tienen 10,8 metros (38,76 pies esp.). Detras de estos estribos, en las cabezas del puente, se han colocado arcos para la sirga, cuya abertura es de 4,55 metros (16,33 pies esp.). El

útil adicion hablando del puente de Molins de Rey sobre el Llobregat en Cataluña.

Despues hace una advertencia para la disposicion, enlace y robustez de las cimbras. Describe el óvalo con arcos de sesenta grados, cuando se dan conocidos el eje mayor y el menor, y determina la razon que tiene el peso absoluto de un arco, con el respectivo que ha de sostener la cimbra, ántes de sujetarlo con la clave.

En la seccion segunda, habla de los puertos de mar; enumerando los edificios principales ejecutados en los Reales Arsenales de Marina y demas puertos de España; y en particular esplica el método observado en Cartagena para el establecimiento de los diques de carena, y otras obras dentro del agua.

Y en la seccion tercera, trata de las esclusas y acueductos, terminando con una interesante adicion sobre las utilidades que producen los canales de navegacion, y de regadío, y el modo de disponer, así estos como los que se abren para facilitar la desecacion de los

---

ancho del puente es de 14,62 metros (52,47 pies esp.); de los cuales 9,42 metros (33,81 pies esp.) son para el paso de los carruages; y 2,03 metros (7,29 pies esp.) para cada banqueta ó acera.

Los cimientos se han construido sobre pilotes, haciendo el desagüe ó agotamiento á 2,3 metros (8,26 pies esp.) mas bajo que las aguas bajas. El ancho del zócalo ó retallo sobre que reposan las pilas ó machones es de 6,82 metros (24,48 pies esp.), al nivel de la plataforma; que hace aun una salida de 65 centímetros (2,33 pies esp.) en todo el contorno de la fundacion; los paramentos se han construido con piedras de sillería muy grandes, y los macizos de todas las partes de la construccion se han llenado con piedras sueltas ó perdidas hasta 8 metros (28,71 pies esp.) sobre las bajas aguas.

Costó 2𝔇305ʊ000 francos, que vienen á equivaler á 9𝔇220ʊ000 rs. vn., no comprendiendo los terraplenes, ni los caminos que conducen al puente; cuyo coste ascendió á 1𝔇172ʊ000 francos, que equivalen á 4𝔇688ʊ000 reales vellon.

A pesar del mérito singular de dicho puente, al ménos respecto de la época de su construccion, como en todo país suelen alarmar las novedades, á causa de las preocupaciones y el influjo de la ciega rutina, la construccion del puente de Neuilly fué violentamente atacada en una Memoria, que se presentó á la Academia de las Ciencias de París, y que hizo impresion aun entre los mismos Sabios. El respetable *Perronet* sintió tanto mas este injusto ataque, cuanto su avanzada edad le imposibilitaba el responder. Pero *Mr. Prony*, discípulo de *Perronet*, y que había estado á su lado, y al de *Mr. Chezy* desde 1783 á 1791 para ayudarlos, en atencion á su avanzada edad, se apresuró á componer una refutacion completa de los asertos de dicha Memoria: con lo cual se grangeó el aplauso universal, é impidió que retrogradase la Ciencia. Esto nos hace ver la necesidad de examinar los nuevos inventos, con la mayor circunspeccion é imparcialidad; pues de otro modo se corre el riesgo de que se perpetúen los errores, sepultándose en el olvido las invenciones mas útiles é importantes.

terrenos pantanosos: y despues de dar noticias de algunos canales estrangeros, describe y pone el proyecto general de los canales de Castilla y de Leon.

8 *Don Benito Baíls* publicó en el año de 1783 su *Arquitectura civil*; y en el de 1790 el *Tratado de Arquitectura Hidráulica.* En la primera pág. del prólogo de esta última obra, manifiesta que siendo muchos los puntos que debía tratar, le fué preciso ceñirse; y descartó lo ménos importante para los Alumnos de la Academia. Al fin del espresado prólogo, manifiesta que había estado esperando se publicase un *Tratado de Arquitectura Hidráulica*, que la Nacion Francesa tenía ofrecido para el año de 1789; y dice que "esperanzado de que por último saldría y me ayude á mejorar el mio, voy sacando este á pedazos ó trozos, quedándome lugar de disfrutarle respecto de la parte que yo no hubiese todavía publicado."

En la primera llana, párrafo 2 de su espresada obra, dice: "Podemos pues reducir á seis los empeños de la Arquitectura Hidráulica: 1.º Fundar los edificios en el agua; 2.º Contrarestar el empuje de las aguas detenidas y la violencia de las corrientes; 3.º Aprovecharlas para la navegacion, el riego y los molinos; 4.º Guiar para los usos domésticos por encañados á las fuentes el agua de los rios ó manantiales; 5.º Recoger la de las lluvias en depósitos donde se guarde pura y saludable; 6.º Fabricar puentes. Estos son los principales asuntos que hemos hecho ánimo de declarar en esta obra...."

Pero, por desgracia, solo publicó lo relativo á los tres primeros puntos; y haciéndole la justicia que con muchísima razon merece bajo todos conceptos, comprendió en ellos lo mejor que se conocía en su tiempo. Sin embargo, nosotros añadirémos todas las indicaciones que los progresos de esta ciencia han hecho despues, y que mas conduzcan para nuestro objeto. Dicho Autor describe bastante bien todas las operaciones de que trata; y en la pág. 57 manifiesta, que *la distancia á que se deben colocar los pilotes depende solo del aguante de cada uno de ellos*, y pone lo que sobre este particular se había pensado hasta su tiempo. A lo cual me parece oportuno añadir, que *la esperiencia tiene acreditado, que clavando las estacas ó pilotes á muy cortas distancias, son ménos sólidas que cuando se hallan mas remotas, y que las muy gruesas no tienen á proporcion tanta fuerza y estabilidad como las mas pequeñas*; porque si el espacio ocupado, ó el terreno que desaloja un gran número de estacas muy juntas, ó muy gruesas, viene á ser mayor que lo que la tierra, por su compresibilidad, puede disminuir, las moléculas del suelo se sepa-

ran, se levantan y pierden su adherencia. Por esta causa, para asegurar la mayor solidez de las estacas ó pilotes, es necesario calcular su distancia y grueso, de modo que la parte desalojada sea igual á la mayor compresion posible del terreno.

Todo lo que dice *Bails* relativo á las *ataguías* * y su distincion en *calzadas*, *espolones*, *estacadas*, *malecones*, *lenguas*, *diques*, y *azudes*, es muy juicioso, y manifiesta que tuvo la mejor eleccion en su tiempo. En el párrafo 172 manifiesta, y con razon, ser un error el establecer las azudes en direccion oblicua á la corriente; pero como en aquella época todavía no estaban en uso las azudes curvas, me parece oportuno indicar, que en el dia está reconocido que, para formar las azudes, las presas, &c.; es preferible un arco adintelado, como representa la (fig. 57 lám. 5.ª) **.

La doctrina de *Bails* acerca del modo de aprovechar el agua para la navegacion, y lo que dice respecto de los rios navegables y canales, es muy recomendable, y termina su obra ocupándose de la navegacion interior de España en general, con cuyo motivo inserta li-

---

* La palabra *ataguía* no se halla en el Diccionario de la lengua castellana; Taramas dice pág. 28 que corresponde á la palabra francesa *batardeau* que tampoco se halla esta equivalencia en los diccionarios franceses-españoles; por lo que reputamos de mucha importancia la exacta definicion que pone *Bails* pág. 129 de dicha obra.

** Tenemos la mayor satisfaccion en anunciar que existe ya en España una presa construida por este sistema, que se debe tomar por modelo para todas las de su especie. Esta obra es la construida sobre el rio Guadalimar en el sitio que llaman *Molino de la Orden*, propio del *Excmo. señor Marques de Camarasa* cerca de Sabiote, por *Don Fermin Pilar Diaz*, Arquitecto sumamente recomendable, que, llevando por máxima no ejecutar nada, sin fundarlo ántes en los conocimientos matemáticos, ha logrado el que jamas se le desgracie ninguna construccion.

La mencionada presa tiene alguna oblicuidad respecto de la corriente, por circunstancias particulares de aquel parage; y para dar una prueba del sólido fundamento con que la recomendamos como un verdadero modelo, basta decir que aquel rio es tan formidable en tiemu pos de lluvia ó deshielo, que en una ocasion, en el término de unas 12 horas subió el agua mas de 33 varas, crecida que no tengo noticia se haya verificado jamas en parte alguna.

Este benemérito facultativo hizo una observacion sumamente interesante al ejecutarla, y es la siguiente: *Despues de construida la obra, en los rigores del calor, la regaba con frecuencia;* con lo cual logró consolidar de tal modo la fábrica, que adquirió una grandísima consistencia.

Esto se verificó en los años de 1819 y 1820; esto es, mucho ántes de que se estampase esta idéa en la pág. 148 del tom. 14 del *Diccionario Tecnológico*, publicado en 1828, que es donde yo por primera vez la he visto impresa. En efecto, hablando de las precauciones que se deben tomar despues del empléo de las mezclas espuestas al aire, dice así: «Consisten principalmente en evitar la desecacion, ya por abrigos, ya por aspersiones de agua en lluvia fina durante los calores.''

teralmente la propuesta de *Juan Bautista Antonelli* á Felipe II, sobre la navegacion de los rios de la Península.

9 Despues de las obras de Taramas y de Bails, se han publicado en Europa otras muchas sobre las construcciones en el agua, entre las cuales merecen consultarse las obras de *MMrs. Perronet*, de *Cessart*, de *Gauthey*, el curso de construccion dado en la Escuela Politécnica por *Sganzin*, las investigaciones sobre las cales por *Vicat*, los estudios relativos á las Artes de construccion por el mismo; la obra de *Hassenfrat* sobre las mezclas ó morteros, y las de *MMrs. Prony*, *Girard*, *Rondelet*, &c., &c. En todas ellas se prueba la importancia que se debe dar á este género de obras, las precauciones que se deben tomar, y la magestuosidad imponente de su construccion; pues hasta en lo material de su impresion se ha procedido con demasiado lujo, sin duda para dar á conocer que, pues las construcciones acuáticas son tan extraordinariamente costosas, viene á ser conveniente el que las obras que contienen sus dibujos ó su teoría, lo sean tambien.

En cuanto á las construcciones de madera, que tanto auxilian para las demas, debemos citar el Tratado de carpintería por *Krafft*.

10 Para dar alguna idéa de lo que importa tener presente en este género de construcciones, y deducir naturalmente los inconvenientes que presenta la construccion de las obras hidráulicas en el dia, y que se pueda examinar si se salvan ó no por la construccion escogitada por mí, estractarémos aquello que nos parezca mas conducente, y que no se halle ni en Taramas ni en Bails, ó al ménos que no se halle del modo conveniente. Lo cual, ademas de la utilidad espresada, servirá para completar hasta cierto punto los conocimientos necesarios para la construccion ordinaria, que siempre son importantes, y se deben conocer, cualquiera que sea el éxito de la construccion que proponemos.

11 Principiarémos poniendo aquellos trozos de las obras de *Mr. Gauthey* sobre la construccion de los puentes, que mas nos hagan al caso. Dicha obra es tanto mas interesante, cuanto su editor es *Mr. Navier*, sobrino suyo, que ha ilustrado con notas y adiciones el testo, para enlazar su doctrina con los progresos posteriores de las Ciencias y sus aplicaciones.

12 En el elogio que se halla en el tomo 1.º.......se dice:

"Los hombres modestos que, sin huir de la gloria, tuvieron por primer objeto los progresos de las artes y la prosperidad de su patria, rara vez gozaron la celebridad que debía ser el premio de sus

trabajos. Pero si en tiempos ménos ilustrados se prodigaron á las hazañas de los guerreros, y á las obras de los poetas, aplausos, y elogios, que no debían ser esclusivos, justo es que en un siglo en que se han sabido analizar las causas de la felicidad y del poder de las naciones, y el lugar que ocupan en los progresos de las artes y del comercio, se tributen los debidos homenages á hombres cuyos trabajos tienen por objeto aquellos progresos, aumentar las riquezas de la nacion y proporcionar á las clases inferiores las comodidades de la vida.

»Examinando por estos principios cual es el grado de estimacion que se merecen las obras de los ingenieros, se juzgará sin duda que hay pocos trabajos, entre los que sirven á la sociedad, mas recomendables que los suyos. El establecimiento y perfeccion de las comunicaciones, que se ha puesto á su cuidado, son sin duda un objeto de los mas importantes, ya por lo que influyen en el comercio, en la agricultura y en las artes, ya por las considerables sumas que en él invierte el Gobierno. Muchas veces, para ejecutar las obras que exigen estas comunicaciones, es preciso vencer obstáculos de la naturaleza; es menester, para salvar las dificultades que presenta, reunir los recursos que ofrecen las ciencias y las artes. Por esto necesita el Ingeniero profundos estudios y vastos conocimientos; pues son pocos los progresos de las ciencias físicas y de las matemáticas de que no pueden sacar partido. Todos los descubrimientos de estas ciencias deben serles familiares, y es indispensable que sepan hacer uso de ellos con discernimiento; lo que supone un estudio profundo de las ciencias á que se refieren. Pero este estudio aun está muy léjos de serles suficiente; por ser todavía poco, si se halla destituido de la esperiencia..........

»La grande importancia de los trabajos de los Ingenieros, las dificultades que presentan, la instruccion que exigen, debían ciertamente ser suficientes para sacarlos del olvido en que comunmente se hallan sumergidos. Obligados en algun modo, por la naturaleza de sus funciones, á hacerlo todo por la utilidad comun, y nada por la gloria, quedan satisfechos por la interior complacencia que el hombre esperimenta cumpliendo deberes útiles, y por la confianza del Gobierno que funda á la vez, el feliz éxito de las empresas en sus talentos y en su carácter.

»Emiland María *Gauthey* nació el 3 de diciembre de 1732.

»En 1747 se creó por *Trudaine* la escuela de puentes y calzadas, y fué nombrado *Perronet* para el cargo de Director.

»Este célebre ingeniero, tan apreciado de sus discípulos, que supo promover en su cuerpo, el espíritu de honor y de emulacion, y la consideracion que es su consecuencia, prodigó sus cuidados y lecciones á los alumnos escogidos, cuyas disposiciones le presagiaban desde luego el éxito que se vió despues. Invitó á *Mr. Gauthey* á tomar parte en su suerte, y esperanzas.

»La beneficencia del Gobierno, mas activa despues, no se estendía entónces como actualmente, sobre todos los ramos. Los alumnos carecían de asignacion; y la falta de medios de *Mr. Gauthey* hubiera sido un obstáculo á su entrada en la escuela: dificultad que se venció pronto. Los Profesores se elegían entre los alumnos, y percibían una retribucion como recompensa de los grandes esfuerzos que tenían que hacer. Los conocimientos de *Gauthey* le designaban para ocupar la plaza de Profesor de matemáticas, que efectivamente se le confirió á poco de ser admitido en la escuela" y de aquí fué haciendo rápidos progresos, y le encargaron las comisiones mas importantes hasta llegar á desempeñar el cargo de *Inspector General de los puentes* y *canales de Francia.*

13 La introduccion, copiada literalmente, dice así:

"La mayor parte de los Arquitectos se han ocupado principalmente de la decoracion de los monumentos. Han dejado en sus obras pocas investigaciones sobre la construccion en general, y sobre la de los puentes en particular. Sin embargo, estos edificios que, á la verdad, son poco susceptibles de recibir una decoracion muy variada, son acaso los que ofrecen mas dificultades en su ejecucion, ya sea por el modo de disponerlos segun los diversos terrenos, ya por la manera de establecer sus cimientos, ya por la construccion de sus bóvedas. Los puentes, sujetos como todas las obras del arte á los efectos inevitables del tiempo, tienen ademas que resistir la accion poderosa del fluido que procura sin cesar trastornarlos, minando las bases sobre que reposan. Estas bases sostienen masas enormes, muy distantes las mas veces de sus puntos de apoyo, y cuya construccion es mucho mas difícil que lo sería si el peso de estas masas obrase perpendicularmente.

»La grande importancia de los puentes, destinados á mantener las comunicaciones entre los diversos puntos de una nacion, preparar caminos al comercio de los diferentes pueblos, y que casi siempre exigen considerables gastos, deben colocarlos en el primer rango de las construcciones hechas á costa del Gobierno. El objeto, que debe ocupar esencialmente al que los construye, es darles una

solidez á toda prueba; la verdadera economía en las obras públicas, y sobre todo en las de Arquitectura Hidráulica, consiste en procurarles la mayor duracion posible. Pero, si es esencial no omitir nada para conseguir este efecto, lo es igualmente no perderlo jamas de vista. Siendo siempre considerables los gastos ocasionados para el establecimiento de los puentes, se deben evitar los que no sean absolutamente necesarios, distribuir con discernimiento los fondos del Gobierno para dejarle los medios de emprender la construccion de los que todavía faltan, y cuyo establecimiento conviene apresurar.

»Entre los Arquitectos que han tratado de los puentes, *Paladio* es casi el único que ha entrado en algunos pormenores sobre su construccion. Lo poco que dice se reduce á algunas máximas generales sobre el sitio ó parage que debe preferirse, sobre el número de sus pilares y sobre la proporcion del espesor de estos con la abertura de los arcos que sostienen. *Alberti* y *Serlio* han propuesto tambien algunas reglas para determinar este espesor, pero ninguno de estos Arquitectos alega razones para apoyar su dictámen: y lo poco acordes que se hallan en sus reglas, basta para mirarlas con desconfianza.

»Los Ingenieros mas célebres del último siglo han publicado descripciones sumamente instructivas de los medios que han empleado para la construccion de los grandes puentes, cuyos trabajos dirigieron. Es sensible que estas obras interesantes sean tan pocas, y que el lujo con que se han publicado sea un obstáculo para que no se estiendan como corresponde. Sin embargo, los modelos que presentan, y que ofrecen ejemplos de la aplicacion de las reglas, hacen todavía desear una obra en que las mismas reglas se espongan y discutan en un órden metódico. Tal es el objeto que nos proponemos en esta. Presentando sobre este asunto un ensayo bastante estenso, se espera empeñar á los Ingenieros á ocuparse de él, y á formar un tratado científico, que nos falta.

»El único libro, cuyo Autor ha considerado bajo un punto de vista general la construccion de los puentes, es la obra de *Gauthier*, Inspector general de puentes y calzadas, impresa en 1728. En esta época estaban poco estendidos los conocimientos sobre esta materia; aun no existían en Francia mas que un corto número de puentes construidos con cuidado. Sin embargo, *Gauthier* trata de la mayor parte de los objetos concernientes á la materia: reune las diferentes cuestiones que deben examinarse y propone á los Sabios buscar la solucion. Una parte de estas cuestiones se han tratado despues por

diferentes Autores; pero ninguno las ha abrazado todas, y aun resta mucho que decir sobre cada una de ellas.

»Las Memorias de la Academia de las Ciencias de París contienen las investigaciones mas interesantes que se han hecho sobre la aplicacion de la Mecánica á la construccion de los puentes y sobre todo á la de las bóvedas. *MMrs. de la Hire*, *Bernoulli*, *Couplet*, *Bouguer*, han examinado sucesivamente los efectos de las fuerzas á que se hallan sujetas las diferentes partes; la forma que convendría darles para mantener el equilibrio, y el espesor de los estribos del puente destinados á resistir su empuje. *Mr. Bossut* en las Memorias publicadas en 1774 y 1776, y *Mr. Prony* en su Arquitectura Hidráulica, han vuelto á tratar las mismas cuestiones de una manera mas general, añadiendo algo á los trabajos de sus predecesores.

»Estas investigaciones analíticas se hallan por desgracia fundadas en hipótesis desmentidas todos los dias por la esperiencia. Sus Autores han supuesto, casi siempre, que una bóveda cuando se rompe, se divide en tres partes, y que la del medio causando el efecto de una cuña procuraba separar las otras dos penetrando sin rozar sobre las junturas que se separaban. Examinando con atencion, cómo se efectúa el rompimiento de una bóveda, se ha notado que no era como queda dicho, y confirmadas estas nuevas observaciones con esperimentos dirigidos especialmente á este objeto, es preciso abandonar los métodos seguidos hasta el dia, y que, por otra parte, conducían á resultados poco susceptibles de aplicacion en la práctica.

»Entre las cuestiones que dependen de la teoría de las bóvedas, la mas importante es la del espesor que se debe dar á los estribos. De lo que nos ocuparémos despues de haber examinado la forma que conviene en los diferentes casos á los arcos del puente, y el grueso que debe tener la clave.

»Esta obra se divide en cuatro libros.

»El primero contiene la descripcion histórica de los principales puentes de piedra antiguos y modernos *, y particularmente de los puentes construidos en Francia. Añádese un estado general de los de estos últimos, cuya longitud de abertura es de mas de veinte metros.

»El segundo comprende los principios generales del establecimiento de los puentes, el modo de fijar las dimensiones de sus par-

* Entre los de España, pone los siguientes: El llamado de Toledo en Madrid sobre el Manzanares; el de Valencia sobre el Guadalaviar; el de Martorell sobre el Noya; el de Salamanca sobre el Tormes, y el acueducto de Segovia.

tes en los de piedra y las de los muros para el sostenimiento de las tierras.

»El tercero tiene por objeto las cimbras, los puentes de madera y de fierro y los puentes movibles.

»El cuarto trata de los pormenores de las construcciones y de la formacion de los avances de los gastos necesarios."

14 El libro segundo principia de este modo:

"El principal objeto, que se debe tener en consideracion, al proyectar un puente, es dar á los arcos una abertura conveniente, para que las aguas de las inundaciones pasen por él libremente y asegurar su permanencia por una buena construccion.

»La solidez de un puente depende casi enteramente de la manera con que está fundado. Cuando sus fundamentos están bien establecidos, la parte superior se puede ejecutar con sencillez ó con lujo, sin que esto influya considerablemente en la duracion del edificio. Se observa, que un gran número de puentes se destruyen por los métodos viciosos empleados para fundarlos, y muy pocos por la mala construccion de sus machones ó de sus arcos: siendo por otra parte susceptible de corregir este último defecto y de precaver las consecuencias que podría tener.

»Se ha visto (en el primer libro de *Gauthey*) que casi todos los puentes construidos ántes del siglo XVIII, están hechos con mucha economía, tanto por el género de construccion como por el ancho que se les ha dado; pues los mas importantes apenas ofrecen paso á dos carruages. La mayor parte de los puentes de París son escesivamente anchos; pero, al hacerlos, se tuvo por objeto el colocar en ellos dos órdenes de casas, lo cual hubiera obstruido el tránsito público.

»Los arcos de la mayor parte de los antiguos puentes de Francia, no son grandes; y esceptuando las cabezas y los ángulos de los muros, que están hechos con pequeñas piedras de sillería, todo lo demas está construido de mampostería * cuyo precio es muy inferior al de la piedra de sillería; sin embargo, los puentes construidos con

* Como se suele confundir el significado de las palabras *albañilería*, *mampostería*, &c., no será inoportuno advertir, que la palabra *albañilería* es genérica y comprende todas las clases de fábrica. Cuando se hace uso de mezcla y de piedra sin labrar, que por esto se llama *piedra incierta*, se designa con el nombre de *mampostería*; cuando se hace uso de mezcla y ladrillo, y algunas veces yeso ó tierra, se designa bajo el nombre de *fábrica de ladrillo*. Se dice que es de *piedra de sillería*, cuando la fábrica se compone de piedras labradas segun el arte de la montéa, y corresponde á la *cantería*; por lo que se designa tambien con la denominacion de *fábrica de cantería*.

esta sencillez duran por mucho tiempo. En el siglo último, se ha tratado, en general, de poner mucho lujo en las construcciones de los puentes *. Se han hecho demasiado anchos, aun en los parages distantes de las ciudades, y se han levantado arcos muy grandes y muy rebajados, cuya ejecucion difícil y atrevida obligaba á emplear piedras de sillería considerables y costosas. De aquí han resultado puentes muy hermosos, que han contribuido á la gloria de la Francia, dando á las naciones estrangeras una idéa de la perfeccion á que había llegado el arte de construir estos edificios. Pero el pequeño número de puentes, formados por este sistema, ha absorvido los fondos que el Gobierno podía destinar á esta clase de obras, y se han desatendido otros muchos puentes sobre los caminos mas principales, cuya construccion hubiera sido útil al Comercio **.

* El puente de Bordeaux merece ponderarse bajo este aspecto; mas segun mi mõdo de pensar, es un defecto de los mas clásicos, inutilizar una obra para el verdadero objeto, por el lujo ú ostentacion fuera de su lugar. La principal y acaso única circunstancia esencial que debe reunir un puente, es la solidez; y lo primero que se nota, al ir á pasar por el de Bordeaux, es que los gendarmes mandan que las diligencias vayan despacio por él, á fin de que el puente no se caiga. En lo cual se observa el mayor trastorno de idéas en haber hecho, con muchos gastos, y empleando mucho estudio, un puente cuya ruina se tema por una causa tan leve. Con mucho ménos gasto se hubiera podido hacer un puente casi eterno, aunque pasasen contínuamente á escape todas las piezas de artillería del universo. Con este motivo, no podemos ménos de espresar que los verdaderos principios de *ornato* consisten en agradar la vista aumentando la utilidad del objeto construido; pero buscar el recréo y adorno en lo que perjudica al objeto principal, es un contra-principio digno de la mayor execracion. Nuestro inmortal *Herrera* se debe considerar como un genio en esta parte; pues no hay adorno que no aumente la solidez del edificio. En muchos puentes, y uno de ellos es el de Segovia sobre el Manzanares en Madrid, se observan unas bolas sobre los tajamares; este adorno es agradable á la vista, y no solo no perjudica, sinó que dá mayor solidez á la obra. En efecto, el machon debe tener resistencia no solo para sostener todo el peso del arco, sinó para resistir el ímpetu de la corriente: y á este ímpetu resiste tanto mas, cuanto mayor peso tenga. De manera, que el peso de las espresadas bolas, ó de cualquiera otro objeto como pirámide, &c., sobre los tajamares ó machones, al mismo tiempo que sirve de adorno, consolida la obra.

** Este es el modo de hablar con franqueza y con verdad; y de esta manera se ilustran los Gobiernos, dándoles á conocer al mismo tiempo el órden y economía con que debe procederse en la construccion de esta clase de obras. En efecto, al proyectar una obra, lo primero que se debe averiguar es cuanto producirá de utilidad real y efectiva, y no si estará bonita, ni si estará fea. Si una produce por ejemplo 4 por 100 de utilidad real y efectiva, y hay otra que produce 8 por 100, por esta es por la que se debe empezar; pues hecha esta, con lo que produzca, habrá para concluir la otra, y al cabo de cierto tiempo se tendrán hechas las dos. Si por el contrario, se principia por la que produce poco ó no produce nada, se gasta en ella el fondo, y queda sin concluir; ó aun suponiendo que se con-

»Juzgamos que es indispensable distinguir, ya con relacion á su ancho, ya con respecto al género de su construccion, muchas especies de puentes. Los que están construidos en caminos de segunda ó tercera clase y en ciudades no muy considerables, deben ser proyectados de diferente modo que los puentes que se construyen sobre los caminos mas frecuentados por los estrangeros, y situados á la entrada ó en lo interior de las grandes ciudades. En los primeros, es necesario atenerse únicamente á la solidez y duracion; y solo en los segundos puede permitirse algo mas en ciertas ocasiones. Adoptando estos principios, se invertirán útilmente los intereses del Gobierno y no se malversarán sus recursos.

»Al establecer un puente hay cinco cosas á que atender: 1.ª á la eleccion del sitio; 2.ª al paso que se debe dejar al agua del rio; 3.ª á la forma de los arcos; 4.ª á su magnitud; y 5.ª al ancho del puente. Cada uno de estos objetos se determinará en virtud de ciertas reglas, y en razon de las circunstancias locales, no debiendo quedar nada á la casualidad en el proyecto.

»Sentadas de este modo sus bases, solo falta fijar las dimensiones particulares de cada parte, el espesor de las bóvedas, el de las pilas ó machones, así como el de los estribos, y elegir el género de fundamento que se haya de adoptar, segun la naturaleza de los materiales de que se haya de construir el puente. Pero sucederá con frecuencia que estas últimas consideraciones influirán en las primeras providencias que se hayan tomado; y será necesario, para adoptar un partido definitivo, combinar entre sí las diversas circunstancias locales y tenerlas todas simultáneamente en consideracion.

»El conocimiento exacto del local es indispensable para la formacion del proyecto. Es necesario tener un plano del curso del rio en una estension suficiente para formar una idéa de su régimen y de las mudanzas que su lecho puede haber esperimentado, ó que parezca susceptible de sufrir en lo sucesivo. En el caso de que la colocacion del puente no esté fijada ya por cualquier circunstancia particular,

---

cluya, no produce utilidad real y efectiva, y es como si nada se hubiera hecho. Así como el *Marques de Santa Cruz*, dice en sus *Reflexiones militares*, que mas batallas hemos perdido con decir nuestra caballería *á ellos*, porque con esto se desordenan, del mismo modo juzgo yo que una de las causas de nuestra decadencia, es la frase española, que se suele usar con tanta frecuencia, al examinar un proyecto, diciendo *estará bonito*. Toda obra, que no tenga en sí mas recomendacion que el *estar bonita*, debe ser desechada, al ménos miéntras no tengamos espeditas todas nuestras comunicaciones interiores, &c., &c.

el plano debe presentar las razones que sirvan para determinarla. La nivelacion del curso del rio es igualmente necesaria, para hacer conocer su declive; y es indispensable que se haga en las diversas estaciones del año, con el objeto de poder juzgar de las variaciones que las avenidas pueden originar, sea en la inclinacion misma, sea en el modo con que se distribuye.

» A los perfiles, que se hayan tomado en la longitud del curso del rio, será necesario añadir otros, dirigidos al través de su lecho, que puedan servir para determinar su ancho, su forma y la profundidad de las aguas en las diferentes épocas del año; y sobre todo es esencial señalar en ellos dos puntos fijos, el uno relativo á las aguas bajas y el otro á las mas altas aguas, que se hayan observado.

» Estos puntos servirán para fijar las alturas relativas de los fundamentos de las diferentes partes del puente, las de sus arcos y de las rampas que será necesario formar en sus avenidas. Se debe reunir á estos perfiles la medida de la velocidad del agua, que es sobre todo esencial conocer en la época de las mayores avenidas.

» El plan y los perfiles del curso del rio, y las medidas de la velocidad del agua servirán para determinar la colocacion del puente y sus principales dimensiones. Mas para saber el método, que se ha de emplear en su fundacion, es necesario conocer la naturaleza del terreno, sobre el cual corren las aguas del rio; lo que se conseguirá sondeándole en diversos parages y á profundidades suficientes, para asegurarse de que se tiene de ella un conocimiento completo. Se hallará en el artículo de *fundacion de los puentes*, el modo con que se practica esta operacion, así como los otros conocimientos que se debe uno procurar sobre este punto. Es en fin indispensable tener noticias exactas de la naturaleza y precio de los materiales, de que se pueda disponer; y de si hay posibilidad de tener el número suficiente de obreros en las diferentes estaciones del año, y de su disposicion é inteligencia. El Ingeniero debe reunir con cuidado todos estos conocimientos, pues que son otros tantos elementos del proyecto que quiere formar."

15 El capítulo primero trata del *establecimiento de los puentes*; y la seccion primera, de su *colocacion*, y dice así: "El sitio donde ha de construirse un puente, no está siempre á la disposicion del Ingeniero. En el campo se ve uno determinado á ello por la direccion de los caminos; y en lo interior de las ciudades, por la colocacion de las calles ó de las plazas inmediatas. No queda entónces al constructor sinó el procurar vencer lo mas eficazmente posible, en el parage que le es señalado, los obstáculos que la naturaleza le opone.

»Sin embargo, el elegir la colocacion de un puente es algunas veces casi arbitrario *; y en una ciudad misma se toma frecuentemente el partido de abrir nuevas calles, principalmente cuando las antiguas son tortuosas y demasiado estrechas..... Entónces es necesario procurar establecer el puente sobre el terreno mas sólido y ménos susceptible de comprimirse ó de hundirse por la corriente de las aguas. Siendo la roca el mejor de todos los fondos, se puede algunas veces, cuando no se encuentra muy distante, desviar el camino, alargándole algo para ir á buscarla, lo cual es mas ventajoso que dejar espuesta la solidez y duracion de la obra, edificándola en un suelo peligroso. De donde se deduce que es imposible dar reglas generales sobre este objeto, respecto del cual se decide ordinariamente segun las circunstancias particulares en que uno se encuentra; y solo se pueden indicar los principales motivos en virtud de los cuales deba ejecutarse la eleccion.

»Es esencial disponer el eje del puente perpendicularmente al hilo del agua **, á fin de que la direccion de la corriente sea paralela á las caras laterales ó paramentos de los machones. Cuando esto no es posible, se inclinan las caras de los espresados machones relativamente al eje del puente, y entónces toma el nombre de puente *sesgado*. De lo cual se deduce que será necesario hacer un puente sesgado en direccion oblicua á la corriente, siempre que la direccion del camino forme con la del rio un ángulo diferente del recto. Se evita en lo general esta especie de puentes, principalmente cuando tienen muchos arcos, en razon de la dificultad de su construccion; pero se debe tener presente que, esta dificultad, que se reduce á alguna sujecion en el aparato, no merece la importancia que se le ha querido dar. No es

* Sería muy esencial, el que se tomasen las mas serias precauciones al elegir el sitio de la colocacion de un puente. Yo he visto en las inmediaciones de Talamanca un puente construido, y el agua del Jarama se iba por otro lado. Ví tambien, en las inmediaciones de Uceda, un puente que se lo llevó el mismo rio, el primer invierno de su construccion. En el parage donde estaba, tendría el rio unos treinta pies de ancho, y á pesar de esto, hicieron dos arcos, poniendo en medio una gran pila ó machon, con lo cual parece que lo que quisieron hacer era poner un obstáculo al agua; y por eso esta se lo llevó al instante.

** A pesar de esto, yo he visto construir un puente sobre el Ródano, cerca de *Lyon*, en el parage llamado *La-Mulatière*, el cual está oblicuo á la direccion de las aguas. Esta obra se hacía para que por él pasase el camino de fierro que de *Saint-Etienne* se estaba construyendo para *Lyon*; yo estuve en medio del rio presenciando las fundaciones, en el momento en que se clavaban las estacas y se hacían las pilas ó machones. Los *Sres. Seguin*, que son cuatro hermanos, son los Ingenieros que dirigían esta empresa con el mayor conocimiento.

necesario jamas titubear en hacer un puente en direccion oblicua á la corriente, siempre que la necesidad lo exija, ya por la direccion del alineamiento del camino, ya por el curso del rio *.

16 En la seccion 2.ª trata *Mr. Gauthey* de la *amplitud*, salida ó paso que se debe dar á las aguas por debajo de los puentes, y que él comprende bajo la palabra *débouché*, y dice así: "La cuestion de la *salida* (*débouché*) que se debe dar á las aguas por los puentes es estremamente importante, y su duracion depende muy principalmente de su resolucion mas ó ménos exacta. Por desgracia, esta cuestion es semejante á todas las que proceden de las Ciencias Físico-Matemáticas: está uno obligado á emplear, para resolverla, elementos que faltan, y que dejarán siempre alguna incertidumbre en los resultados que se obtengan, hasta que una série de esperimentos numerosos y auténticos haya ilustrado enteramente esta materia.

»La salida del puente, que se proyecta, no es muy dificultoso determinarla bien, cuando hay en sus inmediaciones otros puentes sobre el mismo rio. Entónces se tiene cuidado de medir, durante las avenidas, la seccion del rio en el parage de estos puentes, y de observar la velocidad del agua y la caida que se forma ordinariamente por la parte de arriba. Por medio de las comparaciones suministradas por estos datos, se puede algunas veces fijar la nueva salida con bastante exactitud. Pero si no existe ningun puente cerca del que se quiere construir, es preciso, para resolver este problema, valerse de las reglas que vamos á esponer, y que por otra parte sería útil emplear en todos los casos, aun cuando no fuese sinó como método de verificacion.

»La cuestion de la *salida* se reduce naturalmente á otras dos:

1.ª »Determinar, en virtud del conocimiento del álveo del rio, cual es la cantidad de agua que el puente debe dejar correr.

2.ª »Conocida esta cantidad de agua, fijar la superficie de la salida que necesita."

17 Para determinar lo primero, empléa *Mr. Gauthey* seis páginas, usando del método que nosotros hemos espuesto en el cap. VIII del libro anterior. Y en cuanto al modo de fijar la salida, con relacion á la masa de las aguas del rio, se esplica en estos términos:

* En los caminos ordinarios nada importa cambiar su direccion; pero en los de fierro no se puede hacer sin graves inconvenientes. Los Ingenieros *Sres. Seguin* sufrieron muchas contradicciones en Francia; pero triunfaron en virtud de las esplicaciones que les sugirió la sagacidad de su talento.

"Las dimensiones del lecho de los rios son generalmente bastante constantes. Esceptuando los casos en que corren por terrenos de arena, que ceden con tanta facilidad á la accion de las aguas, que la corriente puede en cada crecida trasladarse á parages diferentes, se establece en cada punto del curso del rio un cierto equilibrio entre la accion ejercida por las aguas sobre sus paredes, y la resistencia de las materias de que el lecho se compone; y en virtud de este equilibrio no suceden ordinariamente mudanzas muy notables en la magnitud ni en la forma de este álveo, que cônserva siempre sobre poco mas ó ménos el mismo régimen. Mas si por efecto de una causa cualquiera, se aumenta la fuerza con que el agua propende á correr y á destruir el fondo y las orillas de su lecho, este por precision se agrandará hasta que el equilibrio se haya establecido de nuevo, á ménos que las paredes no estén compuestas de materias que presenten una resistencia mas considerable que la fuerza con que son atacadas. Si la velocidad del rio hubiese sufrido por el contrario una diminucion, el lecho se cegará por efecto de los depósitos sucesivos, hasta que la magnitud de la seccion haya vuelto á ser tal que esta velocidad se halle con la resistencia del fondo precisamente en la relacion señalada por la naturuleza para la estabilidad del régimen del rio.

» De aquí resulta que si se disminuyese el ancho de un rio con obras hechas en su álveo, la velocidad se aumentaría por precision, formándose un remolino y una caida; las aguas en este caso volverían á obrar sobre el fondo; y el lecho se profundizaría, hasta que el incremento de la seccion, combinado con el de la velocidad, sea capaz de compensar la diminucion del ancho que el rio haya esperimentado, y hasta que esta velocidad se vuelva á encontrar en equilibrio con la resistencia del fondo. Al contrario, si se aumenta el ancho del álveo, la velocidad, disminuyéndose por precision, este lecho ó álveo tendrá propension á cegarse.

» Es, pues, muy esencial al construir un puente considerar la velocidad que las aguas tomarán debajo de sus arcos; es necesario que esta velocidad no aumente, de modo que pueda atacar el fondo del rio, y socavar los cimientos de las cepas de las pilas ó machones y de los estribos. Tampoco se debe disminuir sensiblemente dicha velocidad; porque entónces se habrá dado al puente sin utilidad una longitud demasiado considerable, y esta diminucion podrá ocasionar depósitos que vengan á ser peligrosos en lo sucesivo. Hay con relacion á este asunto algunas distinciones que hacer, respecto de la naturaleza del terreno, de que se compone el fondo del rio. Si es esce-

sivamente compacto y tenaz, y se aproxima á ser roca, no podrá ceder sensiblemente á la accion del agua; y cualquiera que sea entónces su velocidad, no hay que recelar que el puente sea socavado. La única cosa, que se debe observar en este caso, es que las aguas no pueden tomar una gran velocidad sin que se forme en la parte de arriba del puente un remolino ó rebalsamiento considerable, y que si la salida fuese demasiado estrecha, podría tal vez producir inundaciones en la parte superior del rio y hacer difícil su navegacion. Si el fondo se compone de una materia que el agua pueda atacar fácilmente, será necesario tener cuidado de que su velocidad ordinaria no se aumente considerablemente. En fin, si el terreno cediese á la accion del agua, con tal facilidad que se pueda temer que, en una crecida, la corriente venga á dirigirse debajo de algunos arcos y socavar allí el fondo, mientras que depositase al mismo tiempo arena en otros, este será el caso de construir un zampeado general. Entónces el fondo presentando por todas partes la misma resistencia á la accion de la corriente, la obligará á regularizarse y á distribuirse igualmente sobre todo el ancho del rio; y mientras el zampeado subsista, no habrá temor de que ningun machon pueda ser socavado.

»Se vé, por lo que precede, que la velocidad que el agua debe tomar debajo del puente conviene determinarla de antemano en todos los casos, ya por la naturaleza del terreno que compone el fondo del rio, ya por la altura de los remolinos que se deben formar en la parte anterior, ó como suele decirse *agua arriba* y que depende del valor de esta velocidad. Como la cantidad de agua que lleva el rio es tambien conocida, la superficie de la salida que el puente debe dejar, puede calcularse inmediatamente. La cuestion se encuentra pues reducida al problema siguiente: *Dada la seccion del lecho de un rio y la velocidad del agua, determinar la nueva velocidad, que tomarán sus aguas y la altura del remolino que se formará: suponiendo que el lecho se encuentre angostado por la construccion de los machones de un puente.*

»Este problema no es susceptible de resolverse rigurosamente; pero haciendo abstraccion de algunas circunstancias, cuyos efectos son poco sensibles, y que aun se compensan en gran parte vamos á dar, segun *Dubuat*, una solucion que pueda emplearse útilmente en la práctica.

"Supongamos que *ABDC* (fig. 58 lám. 5.ª) represente la cara lateral de un machon; y *GEF*, la inclinacion ó superficie natural del rio, ántes de la construccion del puente. Como en el intérvalo *EF*

se estrechará la corriente, la velocidad y por consiguiente la inclinacion del rio, serán allí mas considerables; y la superficie del agua, haciendo abstraccion de las resistencias particulares producidas por los tajamares, tomará una inclinacion, que podrá estar representada por la línea IF. Esta superficie, en la parte alta ó anterior del puente, se levantará necesariamente por encima del punto I, y la representamos por la línea HK; que en una pequeña longitud se puede considerar sensiblemente horizontal.

»Llamemos K * la superficie de la seccion natural del rio, k la superficie de la seccion, despues de construido el puente ó la superficie de la salida (ó *débouché* segun Gauthey).

V la velocidad media del agua cuando no está formado el puente.

v la velocidad media que el agua tomará debajo del puente cuando este se halle construido **.

I la pendiente ó declive del rio en la unidad que se elija.

l la longitud de los machones$=AB$ ó EF.

H la altura del remolino$=EK$.

g la fuerza aceleratriz de la gravedad$=9{,}8088$ ***.

»Se tendrá $v=\frac{K}{k}.V$; pues que en un rio las velocidades están en razon inversa de las secciones correspondientes **** y las alturas debidas á las velocidades V y v estarán representadas (§ 50 y 51 Mec. Práct.) por $\frac{V^2}{2g}$ y $\frac{K^2}{k^2}.\frac{V^2}{2g}$.

»La parte IK de la altura del remolino que corresponde al au-

---

* *Mr. Gauthey* hace uso de letras griegas; y nosotros, para mayor claridad, nos valdrémos de las de nuestro alfabeto, con que hemos ya señalado cosas análogas en esta obra.

** Aunque la velocidad debajo del puente cuando se halle construido, será mayor que la que tuviese sin el puente, la señalamos con v, y la otra con V análogamente á lo espuesto ya en otras ocasiones.

*** Aquí se advierte el error general de suponer que la fuerza de la gravedad es la misma en todas partes. Repetimos que el valor de g será el que corresponda al parage, segun su latitud y altura sobre el nivel del mar, y que se hallará en virtud de lo espuesto (§ 5 de nuestro lib. 3.º).

**** Lo mismo se verifica en cualquier corriente de agua en virtud de lo espuesto (§ 568 Mec.); y así, puesto que á la superficie K corresponde la velocidad V, y á la k, la v, en virtud de lo acabado de citar, de estar las velocidades de dos secciones en razon inversa de sus anchos ó superficies, se tiene $k : K :: V : v$, que hallando el cuarto término, resulta..... $v=\frac{K}{k}.V$.

mento de la velocidad, será pues la diferencia de estas espresiones; y sacando fuera el factor, se tendrá

$$IK=\frac{K}{k^2}.\frac{V}{2g}-\frac{V^2}{2g}=\frac{V^2}{2g}\left(\frac{K^2}{k^2}-1\right).$$

»Se debe observar que la relacion $\frac{K}{k}$, que entra en esta espresion, no es en la naturaleza exactamente igual á la relacion inversa de las velocidades $\frac{v}{V}$. Se sabe que, en virtud de la contraccion de la vena fluida, y de los rozamientos sobre las paredes de los orificios, la velocidad v, para que el gasto permanezca siempre el mismo, debe ser mayor que la indicada por la teoría; así en lugar de $\frac{K}{k}$, será necesario poner en la espresion precedente $m.\frac{K}{k}$, siendo m un coeficiente cuyo valor depende del efecto de la contraccion y de los rozamientos; luego vendrá á ser $IK=\frac{V^2}{2g}\left(m^2\frac{K^2}{k^2}-1\right)$.

»Es necesario ahora buscar el valor de la inclinacion, que se formará sobre la longitud de los machones. Esta inclinacion estaba espresada por $l.I$, ántes de la construccion del puente; y como los declives aumentan como las alturas debidas á las velocidades correspondientes *, se tendrá para el valor de la nueva inclinacion ó declive $l.I.m^2.\frac{K^2}{k^2}$.

---

* El Autor no pone donde se halla esto demostrado; y como no lo hemos visto en parte ninguna, lo deducirémos de lo espuesto (nota del § 165 del libro 3.º).

En efecto, la última conclusion de dicha nota es que, á igualdad de las demas circunstancias, se verifica que *las velocidades medias guardan la razon de las raices cuadradas de los declives*; lo cual es lo mismo que, invirtiendo esta proporcion y elevándola al cuadrado, *los declives guardan la misma razon que los cuadrados de las velocidades*; y como en virtud de lo demostrado (§ 332 Mec.) *los cuadrados de las velocidades son como los espacios*, que aquí son *las alturas debidas á las mismas velocidades*, resulta en

»Así, la parte de la altura del remolino que proviene del aumento de la inclinacion, bajo los arcos del puente, estará representada por $EI=l.I\left(m^2\frac{K^2}{k^2}-1\right)$ y se tendrá

$$EI+IK=H=\left(\frac{V^2}{2g}+l.I\right)\left(m^2\frac{K^2}{k^2}-1\right)$$ para la altura á que se elevan las aguas del rio en la parte anterior al puente, pues que su nivel debe permanecer el mismo en la parte baja.

»Para aplicar á la práctica el resultado que acabamos de obtener, bastará sustituir en vez de V, su valor $m.\frac{k}{K}.v$, y dar despues á v el que se haya fijado de antemano, en virtud de los principios espuestos, para la velocidad que las aguas deben tomar debajo del puente.

»En cuanto al valor del coeficiente, estamos aun léjos de poderlo fijar de un modo tan exacto como sería de desear. Los esperimentos, relativos á este objeto, se han hecho todos en orificios practicados en paredes de diferentes gruesos, á las cuales se adaptaban algunas

---

efecto que *los declives guardan la razon debida á las velocidades,* como se espresa en el testo. Ahora, para llegar á obtener el valor que saca el Autor, debemos observar que, por el supuesto, I representa la inclinacion ó pendiente en la unidad de longitud; por consiguiente para obtener el declive que corresponde á la longitud l, dirémos $1 : I : : l : x=l.I$.

Esta espresion representa la diferencia de nivel que hay entre los dos puntos E y F de la superficie superior de las aguas ántes de construirse el puente. Y para encontrar ahora la diferencia de nivel entre los puntos I y F, despues de construido el puente, dirémos, en virtud de la proporcion que acabamos de citar, $\frac{V^2}{2g}$ (altura debida á la velocidad V que tiene el agua ántes de formar el puente): $\frac{V^2.m^2.\frac{K^2}{k^2}}{2g}$ (altura debida á la velocidad $v=V.m.\frac{K}{k}$ que es la que tiene el agua despues de construido el puente) :: $l.I$ (declive ó diferencia de nivel entre los puntos E y F antes de construir el puente): al declive ó diferencia de nivel entre el punto I y el mismo punto F á su salida; y para encontrar el cuarto término, multiplicarémos el segundo por el tercero; y dividiendo el producto por el primer término y simplificando, se halla por último $l.\ I.\ m^2.\ \frac{K^2}{k^2}$, que es lo que espresa el testo.

veces tubos, á través de los cuales el agua corría bajo cargas mas ó ménos considerables. Independientemente de que las dimensiones de estos orificios, aun en los esperimentos hechos mas en grande, no son comparables con las de los arcos de los puentes, se advierte que las circunstancias del tránsito son diferentes de las que se verifican en la cuestion que nos ocupa.

»Se verá en uno de los capítulos siguientes, cuyo objeto es buscar la forma mas ventajosa que se debe dar á los tajamares de los machones de los puentes, que dicha forma influye muy sensiblemente, así como tambien el espesor del machon, sobre el modo con que se efectúa la contraccion que modifica el paso natural del rio al encuentro del puente. De aquí se sigue que el valor del coeficiente m depende en parte de la forma de los tajamares y de la de los arcos, cuando están sumergidos en el agua. Pero no es posible determinar la que debe tomar en los diferentes casos, y está uno reducido en cuanto al puente, á emplear el valor $m=1{,}097$, que parece indicado por algunos esperimentos de *Dubuat* que se refieren á este objeto *.

»Así, poniendo en la ecuacion precedente por H y v los valores dados por la naturaleza del rio y la colocacion del puente, se deducirá por último el valor de k.

»Mas, para fijar de antemano la altura del remolino, que pueda formarse en la parte anterior del puente, es necesario preveer las mudanzas que ocasionará en la altura de las aguas del rio, y las inundaciones que podrán resultar. Es fácil ver que la superficie de estas aguas que, ántes de la construccion del puente, y en la hipótesis de una inclinacion uniforme, se confundía sensiblemente con un plano inclinado, vendrá á ser una superficie cóncava, que á la parte de arriba del puente, será tangente á un plano horizontal, y que en el sitio donde el remolino deje de conocerse, será tangente al plano de su superficie primitiva. No es posible determinar en general la naturaleza de esta superficie; y aun en el caso de que la análisis ofreciese para este objeto recursos suficientes, la solucion del problema podrá emplearse raras veces en la práctica, en atencion á las irregularidades que ofrece siempre el curso de los rios. Pero no es dudoso que la formacion de un remolino en la parte anterior de un puente, no pudiendo producir sinó inconvenientes, ya con relacion á la solidez del edificio, ya por razon de las dificultades que opone á la navegacion, ó de las inundaciones que puede causar, no sea muy

* Son los que pone *Mr. Navier* en una nota, que nosotros insertarémos (§ 23 de este libro).

esencial en general hacerle tan poco considerable como sea posible.

»Se ha dicho ántes, que era peligroso dar al rio una salida demasiado grande: la razon es, que en este caso, podrían formarse debajo de algunos arcos, montones de arena, tierra, fango, cieno, &c., que adquiriendo con el tiempo bastante consistencia para resistir á la accion de la corriente, originará el que las aguas en una gran crecida, se dirijan con preferencia debajo de los arcos que hubiesen permanecido libres y espondrían sus machones á ser socavados. Es necesario, en general, evitar por una razon semejante, componer un puente de dos partes separadas por una pila ó machon; pues podría suceder que una de las dos partes, hallándose obstruida, toda la corriente se viese obligada á dirigirse debajo de la otra. Los puentes de Chasey y de Roanne han sido arruinados por esta causa. Se ve por lo demas, que los puentes solo perecen por defecto en la salida y que en última análisis el disminuir demasiado su seccion es siempre la causa de su ruina, ya por haber dado de antemano al puente una longitud escesivamente pequeña, ya que por el contrario se haya hecho demasiado considerable.

»Todos los elementos del cálculo de la superficie de la salida deben tomarse en el momento de las mayores avenidas del rio, y debe ser determinada en virtud de la cantidad de agua que lleva en dicha ocasion. Es esencial, sin embargo, en los rios que son susceptibles de ello, disponer los arcos de modo, que en sus mas bajas aguas, quede en algunos al ménos un metro de profundidad (un poco mas de tres pies y medio esp.), á fin de que la navegacion no se halle interrumpida. Será siempre posible combinar entre sí las diferentes condiciones á que la magnitud y la forma de los arcos que se empléen deban satisfacer; y en cada caso particular, se podrá llegar, haciendo diversos ensayos, á la mejor solucion del problema de que tratamos."

18 *Mr. Gauthey*, para aclarar esta doctrina, la contrae á ejemplos de puentes de Francia; y nosotros harémos aplicacion al puente que hay sobre el Jarama en el camino que de Aranjuez viene á Madrid llamado comunmente *puente largo*, y que en efecto lo es por antonomasia; pues tiene una longitud escesiva.

El plano y perfil de este puente se hallan en la lámina 11 A de la obra de Taramas, de donde nosotros hemos copiado nuestra figura 78 que representa la elevacion de dicho puente; y encontrando la relacion que tendría toda la seccion del rio, ántes de estar construido el puente, con la superficie que componen todos los cla-

ros de los arcos y que forman la salida del agua por él, se encuentra que es la de 3 : 2.

Comparando la superficie que forma la salida del agua, con la superficie que ocupan los machones ó pilas con sus zócalos ó retallos, la imposta, &c., es decir, con toda la superficie de los obstáculos que se oponen al paso libre del agua en las avenidas, se encuentra la relacion de 1,88:1, que quiere decir, que *la superficie que ocupan los obstáculos que el puente presenta al paso del agua es mayor que la mitad de la superficie libre del agua*, que es lo que yo llamo *salida* (y que Mr. Guthey llama *debouché*). De esta imperfeccion en la traza y construccion primitiva son consecuencias forzosas las composturas en que siempre se anda, y las inundaciones de los terrenos anteriores á su posicion, motivando los dispendios y estragos que son tan notorios.

Este puente tiene todos los defectos de los que se construían en aquella época. Ante todas cosas, su longitud es de 1063 pies; y esto origina que en las bajas y medianas aguas deja el puente una salida demasiado grande, y resulta que debajo de algunos arcos se han formado bancos de arena, que habiéndose consolidado, obstruyen el paso en las grandes avenidas, y obligan á que la mayor parte del agua pase solo por dos ó tres arcos, con lo cual padecen contínuamente las cepas de sus pilares ó machones.

La última vez que yo pasé por dicho puente, fué en marzo de 1830; y entónces los arcos que estaban llenos de depósitos de arena, eran los que se aproximaban á Madrid, y casi toda el agua iba por unos cuantos de los arcos últimos que están por la parte mas próxima de Aranjuez; y justamente en aquel parage es donde las cepas de los machones se habían socavado por la parte inferior, ó por la parte de aguas abajo. Con lo cual se ve confirmada toda la teoría que hemos espuesto.

Ademas, en este mismo año de 1831 se ha verificado que el terreno mas arriba de dicho puente, en el parage que llaman el *soto*, se ha inundado considerablemente en este invierno: lo cual procede principalmente del esceso de grueso en los machones.

La imposta que se coloca en dicho puente, un poco mas alta que el nivel de las aguas bajas, es sumamente defectuosa; pues el resalto que tiene es estremamente perjudicial y no conduce ni á la belleza, ni á la solidez, ni á nada mas que aumentar el gasto, proporcionar un estorbo y entorpecimiento al hacerla, y una causa continuada para que la obra se deteriore.

19 En el puente de *Neuilly*, que se halla como á unas dos leguas de París sobre el Sena y es, como ya hemos espresado, el primero construido por la doctrina de *Perronet*, se verifica que la relacion de la superficie total que formaría la seccion del rio, si no hubiese puente, con la que ocupa la salida del agua es 1,15:1.

Y la relacion de la salida del agua con la superficie que ocupan las pilas ó machones, con sus zócalos ó retallos, &c., es la de 6,8:1.

Si comparamos esta relacion 6,8 del puente de *Neuilly*, con la 1,88 del *puente largo*, se saca la relacion 3,6. De donde resulta que la duracion del puente largo debe ser mas de tres veces y media menor que la del de *Neuilly* por esta sola causa; y que las composturas del espresado puente largo deben ser mas de tres veces y media mayores que las del puente de *Neuilly*. Todo esto lo confirma la esperiencia; pues yo no he pasado jamas por el puente largo que no haya visto degradaciones y composturas; y en seis años que he permanecido en París; y que acaso no ha pasado mes que no haya hecho un viage casi exprofeso á ver el puente de *Neuilly*, no he visto en él la mas mínima deterioracion ni compostura.

20 En la seccion 3.ª pág. 199 trata *Mr. Gauthey* de *la forma de los arcos*, y dice:

"Los arcos de los puentes se dividen relativamente á su forma, en tres especies principales: los de *medio punto* descritos por una semicircunferencia de círculo, los arcos rebajados ó *en ansa de panier* * descritos ordinariamente por muchos arcos de círculo de diferentes radios, y cuya forma se aproxima á la de una semi-elipse, y los arcos en *arco de círculo*, que están formados de un arco de círculo de un número de grados mas ó ménos considerable.

»Los de medio punto son los mas generalmente usados. No se encuentran puentes antiguos donde no se haya empleado esta forma, que por mucho tiempo ha sido generalmente adoptada en Europa, y que tiene la ventaja de presentar la mayor solidez y facilidad en la construccion. Pero los arcos de medio punto tienen el inconveniente de obstruir considerablemente el paso de las aguas.

»Se ha visto en el primer libro (de Gauthey), que el uso de los arcos *en ansa de panier*, (arco *carpanel* ó *apaynalado*), no se había introducido en Francia, sinó hácia el fin del siglo XVII. Se ha llega-

* Los rebajados pueden tambien formarse por una semi-elipse, cuyo eje mayor sea horizontal y el menor vertical. Los arcos que los Franceses llaman *en ansa de panier*, porque la curva se parece á una asa de cesta, se conocen en español con la denominacion de arco *carpanel* ó *apaynalado*.

do á adoptar esta forma por la necesidad de dar mucha salida sin aumentar considerablemente la altura *. Tiene efectivamente esta ventaja, y ofrece por otra parte, cuando los dos diámetros no son muy desiguales, casi tanta solidez y facilidad en la construccion como los de medio punto.

»En cuanto á los arcos en arcos de círculo, es necesario distinguir dos casos diferentes. El primero es aquel en que los arranques están sumergidos en el agua. Entónces la forma del arco tiene sobre los de *ansa de panier* la desventaja de dar una salida ménos considerable, y de ocasionar tímpanos demasiado macizos. Este último defecto parece haber sido conocido por los primeros constructores; porque las enjutas de sus arcos están casi siempre llenas de tierra ó descargadas por medio de pequeñas bóvedas que en español se llaman *conejeras*.

»En el segundo caso los arranques del arco se elevan sobre pies derechos, al poco mas ó ménos á la altura del nivel mas alto de las grandes avenidas del rio; lo que obliga ordinariamente á hacer el arco muy rebajado. De esto resulta que la presion lateral de las claves es muy considerable, y es necesario entónces poner el mayor cuidado en la construccion, á fin de que la bóveda no quede espuesta á bajar despues del descimbramiento, como ha sucedido alguna vez. El modo con que se ejerce el empuge en los arcos de esta especie es diferente del modo con que obra en los otros. No propenden ordinariamente á trastornar los estribos, sinó á hacerles resbalar horizontalmente. Indicarémos despues los medios que juzgamos mas á propósito para resistir á este empuge, sin hacer gastos considerables.

»Se verá tambien en lo sucesivo, que la resistencia que los arranques de los arcos oponen á la corriente, cuando están sumergidos en ella, es una de las principales causas de los socavamientos que se forman al pie de los machones. Los puentes en arco de círculo tienen, pues, bajo este aspecto una gran ventaja sobre los otros, cuando las aguas del rio no llegan á sus arranques.

»No es posible dar reglas generales para la eleccion que se deba hacer entre estas especies de arcos. Se decidirá en cada caso particular segun las circunstancias locales que puedan presentarse......."

21 En la seccion 4.ª trata de la magnitud de los arcos, y dice así:

* Esta misma ventaja vienen á tener tambien los arcos elípticos rebajados.

"Aunque la magnitud de los arcos depende ordinariamente de circunstancias particulares al parage en que el puente se ha de construir, vamos á tratar de establecer algunas reglas generales que puedan servir de norma.

»Los arcos pequeños convienen principalmente á los rios lentos ó pacíficos, y cuyas aguas no se elevan á una grande altura. Entónces por lo regular es fácil el fundar, y es una razon mas para no temer multiplicar los puntos de apoyo. Los arcos grandes convienen por el contrario á los torrentes donde es en general difícil de establecer los fundamentos, y donde las aguas arrastran frecuentemente rocas ó árboles, que pueden perjudicar á los machones y á los arranques de los arcos, que es importante colocar entónces mas altos que la superficie de las aguas.

»En los rios caudalosos deben emplearse tambien de preferencia los arcos grandes, particularmente cuando están espuestos á considerables avenidas; pero el medio mas ó ménos costoso de establecer los fundamentos de los machones, influirá mucho en el partido que se pueda tomar sobre este punto. Tambien se tendrá en consideracion la naturaleza de los materiales, de que el puente se ha de construir, y que tienen necesidad de ofrecer mayor solidez para grandes arcos que para pequeños, así como á la especie y magnitud de los barcos que naveguen en el rio, á que es necesario dejar un paso franco.

»En cuanto á la luz de los arcos, se pueden tomar dos partidos, ó hacer todos los arcos iguales entre sí, ó disminuir progresivamente su luz en cada uno, desde el de en medio hasta los que terminan el puente.

»Si todos los arcos son iguales, se tiene la ventaja de dar á los hombros de sus bóvedas la misma altura sobre el agua y de poderlos encimbrar todos con las maderas que hayan servido para los dos primeros. Pero entónces se aumenta la altura de las avenidas del puente, y por lo mismo se halla uno precisado á hacer calzadas mas considerables y á embarazar mas las casas contiguas. Hay tambien el inconveniente de no poderse desembarazar con facilidad de las aguas pluviales, que, permaneciendo mucho tiempo sobre el puente, se filtran en su interior y le deterioran; no se puede dar sinó poca inclinacion á las regueras por las cuales las aguas se dirigen á los conductos que las vierten en el rio. Cuando los puentes tienen dos banquetas, las aberturas verticales que se practican á través de las bóvedas están espuestas á los mismos inconvenientes.

»Si los diámetros de los arcos son desiguales, estos últimos in-

convenientes desaparecen; entónces uno es libre de dar por cada lado del pavimento del puente una inclinacion, que sin embargo no puede esceder de 28 milímetros por metro $(\frac{1}{36})$. Se disminuyen por este medio los obstáculos de las avenidas y la altura de las calzadas. Es posible, por lo demas, obtener á un mismo tiempo las ventajas de estos dos métodos, dando á todos los arcos la misma abertura ó luz, pero colocando sus arranques á alturas, de modo que vayan disminuyendo desde el medio hasta los estremos del puente.

» Es necesario dejar á los arcos una altura suficiente para que en las grandes avenidas los cuerpos estraños, tales como los árboles que el rio puede arrastrar, pasen libremente por debajo de los arcos. El *mínimo* de esta altura es, cuando los arcos son iguales, de cerca de un metro (3,5889 pies esp.); y cuando son desiguales, esta altura puede ser comprendida entre 70 centímetros y 1,40 metros (esto es, entre 2 pies y medio y 5 pies esp.)."

22 En la seccion 5.ª trata del ancho de los puentes, y dice así:

"El ancho, que se debe dar á los puentes, depende únicamente del parage donde se construye. Debe arreglarse en virtud del grado de importancia del camino sobre que están construidos, ó la poblacion de la ciudad á que sirven, y es esencial no hacer este ancho demasiado considerable, porque es aumentar el gasto sin utilidad.

» Si el puente se ha de situar en el campo para un camino particular ó de travesía, bastará darle 4 ó 5 metros (esto es de 14 á 18 pies esp.) principalmente sinó es muy largo. Para un camino de segunda clase, el ancho debe ser de 6 á 7 metros (de 21 á 25 pies esp.) lo que basta para hacer pasar á un tiempo dos carruages y gentes á pie. Se podrá dar de 9 á 10 metros (de 32 á 35 pies esp.) á un puente construido para un camino real.

» En lo interior de las ciudades el ancho de los puentes puede variar desde 10 á 20 metros (desde 35 á 71 pies esp.) con respecto á la poblacion y á la actividad del comercio; pero no debe esceder á este último límite. El puente nuevo en París, que sin duda es uno de los mas frecuentados que existen, y donde el tránsito no se halla obstruido, solo tiene 20,79 metros (unos 74 pies esp.) de ancho entre los antepechos."

23 *Mr. Navier* añade á esta materia tres notas. La primera es sobre algunos métodos de interpolacion. La segunda sobre el modo de llegar á la ecuacion que establece una relacion entre la inclinacion ó declive, la seccion y la velocidad de una corriente de agua, y saca las fórmulas de *Mr. Prony*, de que nosotros hemos hecho uso en el lib. 3.º;

y la nota tercera *es sobre el valor del coeficiente* m *en el cálculo de la salida total que los ojos de los puentes deben proporcionar á las aguas*; y pág. 242 dice así:

"*Mr. Dubuat*, al distinguir las diversas especies de contraccion que pueden presentarse en los movimientos de los fluidos, ha descrito (1) la que se verifica en el caso de entrar el agua en un canal mas estrecho, y cuyo fondo no está mas elevado que el del lecho en que se encontraba al principio. Esta contraccion es sobre poco mas ó ménos del mismo género que la que se manifiesta en el paso de los puentes; y el coeficiente habiendo variado, en los esperimentos que le son relativos, desde $m=1,366$ hasta $m=1,097$, conviene adoptar este último valor, particularmente porque el de m debe aproximarse tanto mas á la unidad cuanto la profundidad del cauce es menor con relacion á su ancho, y porque estas circunstancias se aproximan ó tienen mucha analogía con lo que se verifica ordinariamente en los puentes.

"Se ve, sin embargo, cuanta incertidumbre queda sobre este asunto, que ofrece un nuevo campo para investigaciones esperimentales muy interesantes. *Mr. Dubuat* solo ha hecho dos esperimentos acerca de este particular. Ha empleado un canal artificial, de forma rectangular y de 465 milímetros (1,67 pies esp.) de ancho, en el cual ha colocado dos semi-pilas ó semi-machones, de 61 milímetros (2,6 pulgadas esp.) de espesor, aplicados á estas caras laterales, y una pila ó machon de 123 milímetros (5,3 pulgadas esp.) de espesor por cada uno de sus lados, quedando dos pasos iguales de 11 centímetros (4,7 pulgadas esp.) de ancho; de manera, que el paso total quedaba reducido á cerca de la mitad. El tajamar tenía la forma de un triángulo isósceles; y el estribo del machon, la de un triángulo equilátero rectilíneo. Dichos esperimentos se hallan consignados en la tabla siguiente:

(1) Principios de Hidráulica. Tom. 1.º pág. 15.

Número de los esperimentos	Velocidades medias.	Alturas del agua.	Alturas del tajamar.	Remolinos observados.	Remolinos calculados.
	Metros.	*Metros.*	*Metros.*	*Metros.*	*Metros.*
194	0,356	0,172	0,188	0,016	0,025
195	0,318	0,123	0,144	0,021	0,020

»La velocidad media, como tambien las alturas en el tajamar, las ha dado inmediatamente la observacion; los números de la tercera columna se han calculado por la fórmula de *Mr. Dubuat* para el movimiento de las aguas corrientes. De ella se han deducido los valores del remolino comprendidos en la quinta columna; y en cuanto á los de la sesta, se han calculado por la fórmula dada en el testo, suponiendo $m=1,097$. Se ve que esta fórmula va mas conforme con el segundo esperimento. La diferencia que existe entre su resultado y el de la primera, proviene de la disposicion adoptada, y en virtud de la cual el fondo del canal teniendo muy poca inclinacion á fin de que el agua pudiese tomar una velocidad suficiente para producir el gasto, esta inclinacion se había formado sobre la superficie de la corriente, lo que había disminuido la profundidad del agua al encuentro del puente."

24 En el capítulo 2.° trata de la descripcion de los arcos de los puentes, dividiéndole en tres secciones. En la primera trata de los de medio punto; en la segunda, de los arcos en ansa de panier; y en la tercera, de los arcos que se componen de un arco de círculo, que son los que en la Arquitectura se llaman *escarzanos*.

En ninguna de las materias hemos estado tan indecisos como en esta sobre si la insertaríamos ó no. La razon es que toda la doctrina de lo que los Franceses llaman *ansas de panier*, que otros designan bajo el nombre de *curvas de muchos centros*, y corresponde á lo que en español se llama *arco carpanel ó apaynelado*, es vaga, incierta, inexacta y de una complicacion muy estraordinaria, dejando al arbitrio de los constructores una multitud de cosas, que originan en la práctica inconvenientes; de tal magnitud y trascendencia, que se ve frecuentemente en muchas construcciones trazar ó hacer lo que se llama la *montéa* un número considerable de veces; y

despues de una inmensidad de tantéos, venir á construirla, como dicen, á *ojo de buen cubero*. Por esta causa, parece que no debíamos comprender este método, si había otro mejor; mas por otra, llevados de nuestra imparcialidad, nos parecía oportuno insertar dicha doctrina para dejar al lector que decida. Esta opinion llegó á prevalecer en un principio, y tenía ya traducido literalmente todo el capítulo. Pero despues, al ir á repasar lo escrito, me convencí de tal modo de los errores á que puede inducir dicha teoría, que no puedo ménos de suprimirla, sustituyendo en su lugar un método mas sencillo, mas claro, mas exacto, y mas elemental y al alcance de todo género de constructores; pues la principal dificultad que se encuentra en estas cuestiones, se vence por mi método, sin mas que *dividir un ángulo en dos partes iguales*: operacion que es una de las primeras de la Geometría, y para cuya inteligencia no se necesita recurrir á ningun conocimiento de Álgebra, ni de Aritmética.

25 Para proceder con el debido órden, observaré que *Mr. Gauthey* principia su seccion segunda del modó siguiente:

"La forma de los arcos en *ansa de panier*, no queda enteramente determinada, aun cuando se haya fijado su abertura ó luz, y su sagita, flecha ó altura. Es posible, en efecto, describir sobre dos diámetros dados una infinidad de curvas diferentes.

» Las solas condiciones á que la curva de un *ansa de panier* está sujeta, es, que la tangente en el vértice sea horizontal, y que las tangentes en los arranques sean verticales. Como una *semi-elipse* goza de estas dos propiedades, parece natural elegir esta curva, con tanta mas razon, cuanto siendo la única, entre todas las que se podrían tomar, cuya curvatura decrece uniformemente desde los arranques hasta el vértice *, debe presentar á la vista el aspecto mas agradable. Pero tiene el inconveniente de obligar en la construccion á mudar de centro para cada dovela, lo que es bastante incómodo; y ofrece sobre todo la desventaja mas importante de no dar tanta salida al agua como las curvas de que vamos á tratar, á ménos que la diferencia de los dos diámetros del arco no sea muy considerable.

» Se empléan ordinariamente, en lugar de una semi-elipse, curvas compuestas de un cierto número de arcos de círculo; porque es uno dueño, determinando convenientemente las longitudes y los ra-

* Esto que asegura el Autor, sin citar donde se halla demostrado, se deduce con la mayor facilidad de lo que yo demuestro §§ 12, 33, 45, y 49 de mi *Memoria sobre la curvatura de las líneas en sus diferentes puntos, sobre el radio de curvatura y sobre las evolutas.*

dios de estos arcos, de dar al *ansa de panier* la forma que se juzgue mas conveniente.

»Para esto, conviene tener presentes estas dos condiciones: 1.ª que la curvatura del primer arco, al partir de los arranques, encierre á la de la elipse que se construyese sobre los dos diámetros del ansa *, á fin de dar al arco mas superficie de salida que la que tendría si se emplease dicha elipse; 2.ª que el radio del arco del vértice no esceda de un cierto límite. El valor de este límite no se puede fijar en general, pero no debe esceder al doble de la abertura del arco; y si hubiese precision, por circunstancias particulares, de emplear un radio mayor, sería necesario tener cuidado de no dirigir las juntas de las dovelas al centro del arco, sinó á un punto mas aproximado.

»Satisfechas estas dos primeras condiciones, es necesario despues fijar el número de arcos de círculo, de que se ha de componer el *ansa de panier*. No se pueden emplear ménos de tres, y no parece se hayan empleado nunca mas de once: vamos á espresar el modo con que se describen en estos diferentes casos."

26 Siendo todo esto tan vago é indeterminado, he discurrido hace mucho tiempo acerca del orígen que ha podido dar motivo á preferir estas curvas, en las construcciones, respecto de la elipse; y he hallado que es porque hasta estos últimos tiempos, la mayor parte de los constructores no sabía el *Cálculo Diferencial*, que es indispensablemente necesario para determinar los *radios de curvatura*, en cuya direccion deben estar las juntas de las dovelas. Y como yo principié mi carrera desempeñando el cargo de sustituto de las cátedras de Matemáticas de la Real Academia de San Fernando, jamas perdí de vista el proporcionar á los constructores de todas clases los conocimientos que mas pudiesen necesitar. Por esta causa, en mi Tratado Elemental de Matemáticas presento cuatro modos diferentes de trazar la elipse, unos por movimientos continuos, y otros por puntos. Y ademas, en mi *Memoria sobre la curvatura*

---

* El Autor no indica el modo de conseguir esto; por lo que no será inoportuno advertir, que esto se verifica, en virtud de lo demostrado § 33 de la *Memoria sobre la curvatura*, construyendo el primer arco del ansa con un radio, que sea mayor que el cociente que resulte de dividir el cuadrado del semi-eje menor del *ansa* por el semi-eje mayor. Por lo demas, nada se espresa acerca de cuanto debe ser mayor; ni si ha de comprender mucho ó poco á dicha elipse; por lo que la parte mas esencial queda por decidir, y no se indican ni aun los medios que deben conducir, en la práctica, al mejor acierto.

de las líneas, me estendí bastante sobre los radios de curvatura de la elipse, para que los constructores hallasen fácil el camino: calculando con el mismo objeto las evolutas de dicha curva, cosa que no tengo noticia haya ejecutado nadie ántes que yo. Y por último manifiesto en el párrafo 49 el modo de trazar la elipse, con un movimiento contínuo, por el cual resulta que la direccion del hilo con que se traza cada punto siendo el radio de curvatura, representa la direccion que deben tener las juntas de las dovelas, y se pueden trazar estas sin mas que fijar la direccion del hilo en los respectivos puntos.

27 Los constructores suponen que el *ansa de panier* ó *curva de muchos centros* es mas fácil de trazar que la elipse. Lo cual es un error; pues si se compara la construccion de dichas curvas con el método espuesto (247 II T. E.) para trazar la elipse, por un movimiento contínuo, cuya esplicacion ocupa solo cinco renglones, se notará que es mucho mas sencillo y exacto el trazar la elipse, sin dejar nada de incierto, que el trazar las mencionadas ansas, ó curvas de muchos centros. La elipse, ademas de la sencillez de su construccion, presenta una figura siempre agradable á la vista y elegante. Por lo que, en mi concepto, se debería desterrar enteramente el uso de las *ansas* y de los *arcos* en *arcos de círculo*, cuando no es la semicircunferencia, prefiriendo la elipse en todos los otros casos; pues ya sean los arcos tan *rebajados* * ó *peraltados* como se quiera, encontrarán en la elipse medios fáciles, seguros y exactos para construirlos, conciliando cuantas circunstancias se pueden exigir, sin dejar nada de incierto. Los Autores del *Diccionario tecnológico* son igualmente de mi opinion, asegurando que la preferencia que los constructores dan á las ansas, respecto de la elipse, proviene de *pereza* ó de *ignorancia*, y yo diría que proviene de las dos cosas.

28 Los dos inconvenientes que achacan los constructores á la elipse (§ 25), son de muy poca consideracion, comparados con los que resultan de las ansas y de los arcos de círculo. En efecto, el dar menor salida al agua, queda remediado con principiar un poco mas arriba los arranques del arco elíptico, haciendo que este sea un poco mas rebajado para que pase precisamente por el vértice señalado de antemano. Pero este inconveniente es de tan poca considera-

---

* Se dice que una bóveda ó un arco es *rebajado* cuando su flecha, sagita ó altura *CD* (fig. 60 lám. 5.ª) es menor que *CB* mitad de la luz, ó abertura *BA*; y *peraltado*, al contrario, cuando la flecha, sagita ó altura *AO* (fig. 65) es mayor que *OD* mitad de la luz ó abertura *CD*.

cion, que yo he construido una semielipse con los mismos ejes que el ansa del puente de Neuilly; y mi semielipse apenas se diferencia del ansa de panier construida por Perronet, como se vé (fig. 59 lám. 5.ª). La línea efectiva representa el ansa construida por Perronet; y la semielipse construida por mí, con los mismos ejes, se confunde con ella en todas partes, escepto en los puntitos que se advierten por lo interior: donde aparece de cuan poca consideracion puede ser el decremento de salida al agua que dé la elipse respecto de la que proporciona el ansa de panier. Luego dicho inconveniente queda desvanecido del modo mas completo.

El tener que mudar de centros en cada una de las dovelas, no es tan complicado, si se atiende á que siendo la curva simétrica, sólo hay que considerar la mitad del arco: y la dificultad de hacerlos, como corresponde, desaparece cuando se poséen los conocimientos necesarios.

29 Todos estos inconvenientes se hallan vencidos con lo que yo espongo acerca de la elipse, tanto en mi Tratado Elemental de Matemáticas como en la espresada Memoria de la curvatura; mas para que se note hasta qué punto son sencillas las resoluciones y reglas, que suministra para la práctica, la doctrina que allí se espone, y convencer de la mayor facilidad, certeza y exactitud á que conducen, vamos á indicar lo que exige la construccion vaga de las ansas, y á poner despues la sencillísima y exacta construccion que resulta por mi método.

30 Con este fin, observaré que *Mr. Gauthey*, al tratar de las ansas de panièr descritas con tres arcos de círculo, tomando en consideracion que aun cuando sean dados los dos ejes del ansa, esto no basta para determinar la longitud de los radios de los círculos, y que es preciso proporcionarse otra condicion, se propone primero por condicion el que *los tres arcos, de que se compone el ansa, sean iguales á la sexta parte de la circunferencia*, y despues de un cálculo, que no deja de ser penoso, viene á deducir (fig. 60) la siguiente construccion.

Supongamos que AB *sea la luz ó abertura del ansa, á que tambien, aunque impropiamente, se le suele llamar diámetro;* DC *la sagita ó flecha del arco; tómese desde el punto* C *la* CK *igual con la diferencia* CB—CD. *Fórmese sobre* CK *el triángulo equilátero* CHK; *tírese la altura* LH; *y haciendo centro en* L *con un radio igual á* LH, *trácese un arco* HG, *y el punto* G *en que encuentre á la parte* LB *de la luz ó abertura, será el centro*

del primer arco, partiendo desde el arranque B. *Haciendo centro en* G *y con un radio* GB, *trácese el arco* Bm, *hasta que la cuerda* Bm *sea igual con* GB, *y se tendrá ya construido el arco que pertenece al arranque* B. *Del mismo modo se trazará el* An *haciendo centro en* F *con un radio* AF *igual con* GB; *y para trazar el* nDm, *se hallará primero su centro* E, *trazando un triángulo equilátero sobre* FG; *y haciendo centro en* E *con un radio igual con* ED, *se describirá el arco* nDm, *y quedará construida el ansa de panier con los tres centros* F, E *y* G.

Pero podrá suceder, que, despues de todo este trabajo, resulte que el arco *nDm* de en medio forme garrotes con los *An* y *Bm*, como sucede siempre que la curva deba ser muy rebajada ó muy peraltada. En este caso, es necesario emplear mayor número de centros: asegurando los prácticos que hay bastante siempre con cinco centros.

El otro método con que *Mr. Gauthey* determina esta cuestion, para describir el ansa de tres centros, es proponiéndose por condicion el que *los radios de los tres arcos difieran lo ménos posible.* Para lo cual, necesita resolver una cuestion de *máximos* y *mínimos*, haciendo uso precisamente del Cálculo Diferencial; para la que se necesitan los mismos conocimientos que para determinar los radios de curvatura; de manera, que solo el trazado material de la curva exige resolver una cuestion del espresado Cálculo del mismo órden que la de hallar los radios de curvatura con toda exactitud, si se hiciera uso de la elipse; y ademas quedan en pie las otras dificultades é incertidumbres.

31 Al pasar Mr. Gauthey á describir las ansas de mas de tres centros, se contrae á la construccion de la de los arcos del puente de Neuilly, que está representada en la (fig. 61); y pág. 249 dice así: "Despues de haber fijado el radio *FB* del primer arco en sus arranques, se ha tomado sobre la prolongacion del diámetro menor *CD* una distancia *CE*, que se ha hecho arbitrariamente tripla de *CF* y que por otra parte podría tener con esta línea, cualquiera otra relacion. Habiendo despues dividido *CE* en cinco partes iguales, y *CF* en cinco partes que estuviesen entre sí en la relacion de los números 1, 2, 3, 4 y 5; y unidos los puntos de division por las líneas *LF*, *MG*, *NH*, *OI*, *EK*, se han tomado por centros de los diferentes arcos, que componen el ansa, los puntos *E*, *P*, *Q*, *R*, *S*, *F*, que se hallan en las intersecciones respectivas de estas líneas.

»Se ve, que en la curva, que se describe de esta manera, la relacion de la altura *CD* á la abertura *AB* depende de los datos de que se ha partido, es decir, de la longitud de la línea *CF*, y de su relacion con *CE*. Mas cuando uno se propone describir un ansa, sus dos diámetros están determinados regularmente de antemano; así, despues de haber construido una curva por el método precedente, será necesario modificar esta curva, de modo que la altura *CD* venga á ser precisamente igual á la que uno se haya propuesto, ó sea dada."

Y pasa luego á encontrar la verdadera figura, haciendo uso de una multitud de conocimientos de Álgebra y de Geometría; lo que hace sumamente largo y penoso dicho método, ademas de las incertidumbres y arbitrariedades que encierra. Y por otra parte, el ahorro, al hacer la montéa de la direccion de las dovelas, no es de gran consideracion; pues las juntas del arco *Bm*, deben dirigirse al centro *F*. Las del *mn* al centro *S*; las del *nr* al centro *R*; las del *rs* al centro *Q*; las del *st* al centro *P*; las del *tDu* al centro *E*; y las de los arcos restantes á los puntos correspondientes señalados á la izquierda de la línea *CE*.

32 En vez de toda esta complicacion, vamos á proponernos *construir la elipse correspondiente al arco del puente de Neuilly por los mismos datos de Perronet*, que son los que hemos espresado (nota del § 7).

La abertura del arco de este puente es de 39 metros (140 pies esp.); el ansa de panier está rebajada al cuarto, lo que quiere decir que la sagita, flecha ó altura es la cuarta parte de la espresada luz ó abertura; será pues dicha sagita de 35 pies; y quiere decir, que la elipse deberá tener el eje mayor *AB* (fig. 62) de 140 pies, y el semieje menor *CO* de 35. En virtud de lo espuesto (§ 247 II. T. E.), para construirla por un movimiento contínuo, está reducido á tirar por el medio de *AB*, que suponemos de 140 pies esp., la perpendicular $CO=35$; y tendrémos que *C* será el vértice de la elipse ó el punto mas alto del arco, que es donde se ha de colocar la *clave*, que es la piedra ó dovela con que se cierra todo arco.

Desde *C* con un radio igual á *OB* mitad de *AB*, ó de 70 pies, señalarémos, en el eje mayor *AB*, dos puntos *F* y *F'*, los cuales serán los *focus* de la elipse. Fijando, pues, en *F* y *F'* dos clavos, punzones ó puntas, y asegurando á ellos una cuerda, cuya longitud sea exactamente de 140 pies, esto es, de la magnitud *AB* de toda la abertura, que ha de tener el arco, y poniendo tirante la cuerda

por medio de otro punzon ó punta cualquiera, y moviéndole de modo que la cuerda ó hilo esté siempre tirante, quedará trazada exactamente la elipse sin garrotes si el parage donde se traza es bien plano, segun representa la espresada (fig. 62); donde señalamos en el punto *M* la posicion del punzon y de las dos partes del cordon ó hilo correspondientes á dicho punto. A este modo de trazar la elipse, se le caracteriza en la práctica con la denominacion de *vuelta de cordel* ó *arco de punto hurtado*.

33 Compárese esta sencilla operacion con todo lo que exige el (§ 31), y yo dejo al arbitrio de los constructores la eleccion del método que les parezca ménos complicado.

El trazar ahora por mi método la direccion que deben tener las juntas de las dovelas con toda exactitud, y sin recurrir á ningun tantéo, es lo mas sencillo que se puede discurrir. Sea *mn* (fig. 62) la porcion de arco que deba ocupar una dovela cualquiera. Tírense desde el punto *m* las líneas *mF* y *mF'* á los dos focus; divídase el ángulo *FmF'* en dos partes iguales por la línea *mk*, y su prolongacion *ml* representará exactamente la direccion de la junta de la espresada dovela; tírense por *n* dos rectas á los mismos focus *F* y *F'*; divídase en dos partes iguales el ángulo *FnF'* con la línea *nh*; y su prolongacion *ni* representará la direccion de la junta de la dovela correspondiente á dicho estremo *n*. Y tomando *ml* y *ni* de la longitud que convenga segun la naturaleza del caso, se tendrá enteramente descrita la figura exacta de la dovela, del tamaño mismo que deba tener, segun lo exijan las demas circunstancias.

34 He aquí, pues, con cuanta sencillez se allana esta gran dificultad, que hasta ahora se ha encontrado en la práctica; y para convencernos de que el método, que acabamos de manifestar, es exacto, y no presenta nada incierto, vago, ni arbitrario, basta observar que segun lo demostrado (§ 53) de dicha Memoria, el radio de curvatura es perpendicular á la tangente en el punto de contacto; y que por lo espuesto (§ 258 II T. E.) la perpendicular á la tangente en el espresado punto de contacto de una elipse, queda trazada *dividiendo en dos partes iguales el ángulo que forman las dos líneas que del mencionado punto se tiren á los dos focus*.

35 Para no dejar nada que desear, en esta parte, vamos á ejecutar la construccion en grande, y detallada, de una bóveda *rebajada* y de una bóveda *peraltada*. Para la bóveda rebajada, elegirémos una que lo sea mas que la del arco del puente de Neuilly, y será rebajada al sesto; es decir, que la parte *CO* (fig. 63), que es lo que

se llama la sagita, flecha ó altura, y es el semi-eje menor de la elipse que vamos á construir, sea la sesta parte de la línea BA, que es la luz ó abertura del arco, y representa el eje mayor de dicha elipse.

Para la peraltada, elegirémos el caso en que la altura OA (fig. 65) sea igual con vez y media la semi-luz ó semi-abertura OD; lo que da, para la relacion de los ejes AB, CD de la elipse, la de 3: 2.

36 Pero ántes, con el fin de que se patentice aun mas, que en los métodos prácticos de la ejecucion de las ansas, se hallan dificultades, que desaparecen por el nuestro, debemos observar que el mismo *Mr. Gauthey*, dice:

Pág. 252. "Cuando se trazan en grande las montéas de los arcos de los puentes, no es posible, sinó para la parte próxima á los arranques, emplear compas de varas para trazar los arcos de que se componen. Se principia entónces por fijar los estremos de cada uno de estos arcos, cuyas coordenadas se han calculado de antemano; y se acaban de describir por medio de dos reglas ensambladas sólidamente; de modo que formen un ángulo cuyo suplemento sea igual á la mitad del arco; se hace mover este ángulo de modo que sus lados pasen siempre por los puntos estremos del arco, y su vértice da los puntos intermedios."

37 En nuestro método no se presenta ninguna de estas dificultades. Antes por el contrario, mientras mas en grande sea la elipse, que se haya de construir, con mas exactitud resultará trazada por el movimiento continuo denominado *vuelta de cordel*; y para no omitir nada que pueda conducir al acierto, indicarémos las precauciones que se necesitan tomar al trazarla.

Ante todas cosas, es necesario proporcionarse un plano del tamaño que haya de tener el arco, ya sea una tabla, ya la pared ó piso de un aposento, ya un patio, jardin ó campo cualquiera, lo cual tambien se necesita para el método de las ansas.

Cuando la elipse deba ser muy grande, lo que se presenta desde luego como mas sencillo y adecuado, es proporcionarse en el campo una superficie plana del tamaño que convenga por el procedimiento con que se hacen las eras provisionales para trillar. Los dos punteros ó punzones que se clavan en los puntos fijos, llamados *focus*, convendría que fuesen redondeados y del menor grueso posible; que en los dos estremos de la cuerda no se forme nudo, sinó una lazada que pueda girar libremente al rededor; que la cuerda sea lo ménos estensible que ser pueda, y que la persona que lleve el punzon ó punta,

que ha de trazar la elipse, tenga igualmente tirante la cuerda y siempre vertical el punzon. Podrían hacerse exprofeso estos punzones, de modo que tuviesen una rodaja para que pasase mas fácilmente la cuerda; pero en general basta lo espuesto, y que se trace la vuelta de cordel por una persona que esté algo ejercitada en esta operacion.

38 Sentado esto, para trazar la montéa necesaria en la construccion de nuestro arco elíptico *rebajado al sesto*, se procederá del modo siguiente. En medio del terreno se trazará una línea recta *BA* de la magnitud que deba tener el eje mayor. Uno de los métodos mas sencillos para trazar sobre el terreno una línea recta exacta es el que usan los aserradores, estendiendo una cuerda cubierta con almagre, estirándola por en medio, y despues soltarla de repente: con lo que el golpe que da en el madero ó suelo deja trazada una línea encarnada bien recta; y este podría ser un medio para señalar la direccion de nuestro eje mayor.

Ejecutado esto, se tomará en dicha recta indefinida una parte *AB* de la magnitud que deba tener el eje mayor; se dividirá en dos partes iguales, y el punto medio *O* será el centro. Y si se quisiese evitar la division de esta recta en dos partes iguales, se tomará desde luego por centro un punto cualquiera *O* hácia el medio de la línea indefinida trazada; y á derecha é izquierda de dicho punto, con una distancia igual á la mitad del eje mayor, se fijarán sus puntos estremos *A* y *B*. En el punto *O* se deberá levantar una perpendicular por cualquiera de las construcciones (§§ 276, 483 y 484 I. C.), y se tomará en ella una porcion *OC* igual á la sesta parte de la *BA*; con lo que se tendrá el punto *C*, mas alto del arco. Despues se hará centro en este punto *C*; y con una distancia ó radio igual con *OB* mitad del eje mayor *AB*, se señalarán en este los puntos *F* y *F'* que son los que hemos dicho se llaman *focus* de la elipse. En estos dos puntos *F* y *F'* se clavarán dos punzones ó punteros, que, mientras mas delgados sean, con mas exactitud quedará trazada la curva. Despues, tomarémos una cuerda que convendrá sea bien flexible, pero inestensible; y podrá servir un bramante, que será oportuno que ya sea usado, ó tenerlo ántes estendido, ya colgando de él algun peso, ó haciéndole dar una ó dos vueltas á puntos ú objetos que disten algo, á fin de quitarle la propension á enroscarse, que tiene cuando se deslía del ovillo. Se hará en uno de sus estremos una lazada, y en el otro estremo se procurará hacer otra, de modo que la distancia de la parte interior del estremo de la una lazada, á la de la otra, sea exactamente igual al eje mayor *AB*, ó con mas exac-

titud al eje mayor y ademas el grueso de uno de los punzones; para que la suma de las verdaderas distancias de un punto cualquiera de la curva á los centros de los punzones, sea igual exactamente á todo el eje mayor, y no esté disminuida en cada focus de una magnitud igual al radio del punzon.

Puestas las lazadas de modo que comprendan dentro á los punzones fijos, con otro punzon ó puntero se mantiene bien tirante el hilo, principiando por *B*, y yendo separando el punzon ó puntero de la línea *AB*, conservándole siempre bien perpendicular al suelo y que las dos partes del hilo estén igualmente tirantes, al llegar al punto *A* quedará trazada la semielipse *BCA*, siendo la posicion del punzon ó puntero móvil, en cualquiera de sus puntos, la misma que se representa en *M* (fig. 62).

39 Ahora, en la construccion regular y ordinaria, de lo que se trata es de formar una curva como esta, con diferentes porciones de piedra que deben ser en número ímpar, á fin de que haya una que ocupe la parte superior ó del medio, á la cual se le caracteriza con el nombre de *clave*, y es la que las sujeta á todas; las inmediatas á esta, por uno y otro lado reciben el nombre de *contraclaves*; las que se ponen en los estremos *A* y *B* del arco, se denominan *almohadones* ó *salmeres*, y todas las demas se llaman *dovelas*. La forma de todas debe ser la de una porcion de cuña; y el esmero del constructor estriba en formarlas con tal exactitud, que ajusten bien las unas con las otras, y que todas formen por la parte inferior del arco, que se llama *intrados*, una curva continua sin garrotes, exactamente como la que se ha trazado.

Para esto, la circunstancia esencial que se ha de verificar, es que el plano, por donde se halla en contacto una dovela con otra sea perpendicular á la curva *ACB* en aquel punto: lo cual se consigue por el sencillísimo medio que vamos á esplicar.

Supongamos que, para la cuestion que nos ocupa, deben ser 29 las dovelas en todo el arco. En este caso, averiguarémos con el compas la magnitud que se puede ajustar exactamente 29 veces en todo el contorno de la curva *BCA*; y supongamos que *B*1 represente esta magnitud. Como los salmeres deben reposar en los estremos del eje, para trazar la figura de la montéa correspondiente al salmer, que se ha de colocar en *B*, solo falta tirar por el punto 1, una línea que sea perpendicular á la curva en dicho punto 1, ó á la tangente á dicha curva en el mismo punto 1; lo cual se consigue con la mayor sencillez del modo siguiente: se tiran desde el punto 1 á los dos

focus F y F' dos líneas $1F$ y $1F'$, y se dividirá el ángulo $F1F'$ en dos partes iguales por medio de la línea $1d$, que por lo interior de la curva señalamos de puntos, y en la parte esterior señalamos como línea viva, porque es la que representa la verdadera direccion que debe tener la junta de la dovela. Aunque la division de un ángulo en dos partes iguales es de las primeras y mas sencillas operaciones de la Geometría elemental, y en nuestro compendio, es el segundo problema que resolvemos (§ 264 IC), sin embargo, para no omitir ningun detalle, presentamos en la misma (fig. 63) toda la construccion, que hay que hacer, y se reduce á lo siguiente.

Haciendo centro en 1 con un radio cualquiera trazarémos un arco desde la línea $1F$ prolongada hasta la línea $1F'$ que señalamos con el número $1'$, esto es, señalamos con el mismo número 1 con un acento el punto en que el arco mencionado corta á las espresadas líneas. Haciendo centro en estos puntos $1'$, y con un radio cualquiera, se trazan otros dos arcos que se crucen, como señalamos con $1''$, esto es, con el mismo número 1 con dos acentos, para que todo lo correspondiente á cada punto se distinga con facilidad; y por el punto $1''$ de interseccion de estos dos arquitos, y el punto señalado 1 en la curva, tirarémos la recta $1d$, que expresará exactamente la direccion de la junta del salmer correspondiente al arranque B con la primera dovela. Prolongamos esta línea con puntos por lo interior, para que se presente á los sentidos, que divide efectivamente en dos partes iguales al ángulo $F1F'$.

Para trazar la direccion de la junta de la 2.ª dovela, ó sea la primera despues del salmer, con su inmediata, tirarémos desde el punto 2 las líneas $2F$ y $2F'$ á los focus, que son los que se llaman *radios vectores*; y dividirémos el ángulo $F2F'$ en dos partes iguales por medio de la $2d$, que tambien señalamos de puntos por lo interior con el mismo objeto; y la parte efectiva $2d$ representa la direccion de la junta de las mencionadas dovelas.

El modo de practicar la division del ángulo $F2F'$ en dos partes iguales tambien está manifiesto en la figura; reduciéndose á lo que sigue. Haciendo centro en el punto 2, con un radio cualquiera, se trazará un arco, desde la prolongacion de $2F$ hasta $2F'$, cuyos puntos de concurso del arco con dichas rectas señalamos con $2'$ esto es, con el mismo número 2 con un acento. Haciendo centro en dichos puntos de concurso, y con un radio cualquiera, se trazarán dos arcos que se corten, los que señalamos tambien por $2''$; y tirando una recta por este punto $2''$ y el punto 2 señalado en la

curva, la parte $2d$ representará la direccion de la junta de la 2.ª dovela con la tercera. La misma construccion se repite hasta determinar la direccion de la junta de la clave 14 C 15 con la contraclave de la izquierda; pues las demas son iguales á sus homólogas del lado de la derecha.

Con lo cual, solo falta señalar la longitud que hayan de tener las dovelas con arreglo al caso de que se trate; y trazando en un papel, carton, tabla ó listones unidos la figura de cada dovela, se tiene lo que se llama la *plantilla*, por la cual se han de labrar las piedras; y dándosela al cantero, su trabajo debe reducirse á ejecutar el corte de la piedra, de modo que represente con toda exactitud la espresada figura. El cantero deberá ejecutar dos dovelas iguales á cada figura que se le dé, escepto para la clave que no tiene compañera.

En el caso de que, por ser muy rebajada la curva, sea poco sensible la diferencia entre el grueso de la clave por el *intrados* y el de la misma clave por el *estrados*, que es la parte esterior, para mayor seguridad se puede usar de uno de estos medios. O hacer bien sea la clave sola, ó bien la clave y las dos contraclaves mas prolongadas, para que presenten una cuña mayor; ó hacer en las contraclaves unas concavidades interiores, iguales á los resaltos que se dejen en los costados de la clave, presentando entónces la clave, vista en planta, una especie de cruz, como se ve en la (fig. 64), que espresa la disposicion que en este caso presentará la union de la clave con las contraclaves.

40 Pasemos á ejecutar lo mismo respecto del arco elíptico peraltado. En este caso, el eje mayor de la elipse ha de ser vertical, y como la razon de los ejes AB, CD es la de 3 á 2; tirarémos, como en el caso anterior, la línea AB (fig. 65); elegido el centro, por ejemplo en O, tomarémos las OA y OB iguales á la magnitud correspondiente á la mitad del eje mayor. En el punto O, tirarémos una perpendicular COD, que prolongarémos por ambos lados y tomarémos las partes OD, OC iguales á la dimension que deba tener el semi-eje menor, que, como ya hemos espresado, será los dos tercios de AO; y tendrémos que los puntos D y C serán los arranques de la bóveda ó arco, y el punto A será el vértice ó punto mas alto, que corresponderá á la clave. Despues, haciendo centro en D ó en C con un radio igual al semi-eje mayor AO, se señalarán en dicho eje mayor los dos focus F y F'. Se clavarán en ellos los dos punzones ó punteros; se introducirán las lazadas hechas al estremo de una

cuerda, como hemos dicho en la construccion anterior, y en que la distancia de la parte interior del estremo de una lazada á la otra sea igual con toda la longitud del eje mayor AB, ó con dicha longitud aumentada en el diámetro de un punzon. Hecho esto, tómese un nuevo punzon con el cual se estirará la cuerda haciendo que su punta se ajuste precisamente en A; en cuyo caso si la parte mas larga de la cuerda, se halla hácia la derecha, se va moviendo el punzon con igualdad desde A hácia D, conservándole siempre la posicion vertical é igualmente estirado el hilo, y quedará trazado el cuadrante de elipse AD. Para trazar el otro cuadrante AC, es preciso colocar el punzon móvil tambien en A entre las dos porciones del cordon, pero de modo que la mas larga quede á la izquierda. Se hace girar el punzon móvil teniendo siempre una posicion vertical, y haciendo que el cordon se halle igualmente tirante, con lo cual quedará descrito el otro cuadrante AC.

Para trazar la direccion de las juntas de las dovelas, se hace la misma construccion que antes, segun se ve en la espresada (fig. 65); mas para mayor claridad, esplicarémos la del primer salmer correspondiente al arranque D, y la última correspondiente á la clave. Aquí hemos supuesto que las dovelas son 21, y que el arco que cada una comprenda sea la parte que hay desde D á 1; la de 1 á 2; la de 2 á 3.........la de 10 á 11.

Para trazar la direccion de la junta correspondiente al punto 1, se tirarán desde dicho punto á los focus F, F' las líneas $1F$ y $1F'$. Haciendo centro en 1 con un radio cualquiera, se trazará un arco desde una de dichas líneas á la otra, cuyos puntos de concurso señalamos con $1'$ en ambas. Desde estos puntos, con un radio cualquiera, se trazarán dos arcos que se corten en un punto que designamos por $1''$; y tirando una recta por el punto de interseccion $1''$ de estos arcos y el punto 1 de la curva, la parte $1d$ es la direccion de la junta del salmer correspondiente á D y de la primera dovela: prolongamos de puntos por lo interior dicha direccion, para que se vea palpablemente que divide en dos partes iguales al ángulo $F1F'$.

Para trazar la direccion de la junta de la clave, con la contraclave de la izquierda, se tirarán desde el punto 11 las rectas $11F$ y $11F'$. Haciendo centro en 11 con un radio cualquiera, pero bastante largo para que corte á las prolongaciones de las $11F$ y $11F'$ donde no hagan confusa la figura, señalarémos con $11'$ los puntos en que el arco encuentre á dichas prolongaciones; y haciendo centro en estos puntos, y con un radio cualquiera, trazarémos dos arcos

que se cruzen, y que señalamos con $11''$; por el punto $11''$ donde se cruzan estos arcos y el punto 11 de la curva, tirarémos la $11d$, que espresará la direccion de la junta que buscábamos; y la prolongacion de puntos, por lo interior, manifiesta que dicha direccion divide en efecto en dos partes iguales al ángulo $F11F'$.

Hemos procurado darnos á entender lo suficiente; y no habiendo usado para nuestro procedimiento de otros principios que los reconocidos por todos como verdaderos, nos parece haber conseguido la sencillez y exactitud que eran tan necesarias en este importante asunto.

41 En el capítulo 3.º trata *Mr. Gauthey* del espesor ó grueso que se debe dar á las bóvedas de los puentes, y dice así:

"Despues de haber determinado la curvatura de los arcos, la primera cuestion, que se presenta, es la del grueso de las bóvedas en la clave; pues que dicho grueso determina la magnitud y direccion del empuge, y por consiguiente la fuerza que deben aguantar los estribos. Las obras de los antiguos, y aun las de los modernos ofrecen sobre este objeto muy grandes diferencias. Muchos constructores han intentado sin embargo, someterla á reglas precisas; mas como no las fundaron en principios ciertos y sensibles, cada uno se ha creido autorizado para no sujetarse á seguirlas exactamente. Vamos á esponer primero en pocas palabras las mas conocidas,

»Los principales Arquitectos italianos, tales como *Alberti*, *Palladio* y *Serlio*, han indicado vagamente algunas de ellas; unos han fijado para este grueso, la décima quinta parte, otros la dozava ó décima séptima parte de la abertura del arco. Se ve desde luego que estos asertos, sin alejarse precisamente de la verdad, porque están fundados sobre la esperiencia de puentes ya ejecutados, no merecen por otra parte ninguna confianza cuando se sale de las formas y dimensiones ordinarias. Sus Autores no parece se han apercibido de ello, y no las han apoyado en ningun razonamiento.

»Lo mismo sucede respecto de las reglas dadas por *Gauthier*, en su *Tratado de los puentes*. Ha distinguido las bóvedas construidas con piedra dura y con piedra blanda; y da á las primeras el quinzavo de su altura cuando pasa de 10 metros (mas de 35 pies esp.), y á la segundas cerca de 32 centímetros (1 pie esp.) de mas. No toma en consideracion por otra parte las formas diferentes que las bóvedas pueden tener; y para conocer cuan falsa es su regla, basta notar que las bóvedas del puente de Neuilly se sostienen con 1,624 metros (6 pies esp.) de grueso en la clave, mientras

que segun *Gauthier* deberían tener 2,6 metros (9,3 pies españoles).

»El Arquitecto *Boffrand* ha formado tablas para el mismo objeto; ellas indican en general gruesos aun mayores que los de *Gauthier*, y por consiguiente no merecen mas confianza.

»En las obras del célebre *Perronet* se halla una regla que consiste en *dar á la bóveda en la clave la vigésima cuarta parte de la luz ó abertura, á la cual se añaden* 325 *milímetros* (1 pie esp.), *y de lo cual se quita* $\frac{1}{144}$ *de dicha luz ó abertura.*

»Esta regla va conforme con los gruesos adoptados en los puentes conocidos, principalmente para los de medio punto; y algunos otros arcos ejecutados parecen solamente indicar, que la regla da gruesos demasiado grandes, cuando la abertura es superior á 30 metros (107 pies esp.)

»Pasamos en silencio las investigaciones analíticas, en virtud de las cuales, muchos Sabios han procurado determinar estos gruesos. Se verá en el capítulo siguiente que sus resultados en general son poco susceptibles de aplicarse á la práctica.

»Parece, pues, que para fijar el grueso de una bóveda, es necesario tener principalmente en consideracion la naturaleza de los materiales de que se compone, y el método de construccion que se empléе.

»Cuando se haya visto, en el capítulo siguiente, cuales son los efectos que se manifiestan en las bóvedas despues de su construccion, no quedará duda de que si una bóveda estuviese compuesta de materiales incompresibles, no podrá tomar movimiento, sinó en tanto que las partes resistentes no tuviesen bastante masa para sostener el esfuerzo de las partes que obran; ó si se quiere, sinó en tanto que sus estribos no fuesen suficientemente gruesos para resistir al empuge de la bóveda. La piedra de sillería pudiendo considerarse en realidad como sensiblemente incompresible, se ve que si las dovelas estuvieran colocadas las unas sobre las otras, sin cuñas, ni morteros ó argamasas, y que la bóveda no pudiese tener absolutamente ningun descenso, bastaría para sostenerse, que los estribos tuviesen un grueso conveniente, y que la altura de la clave fuese bastante grande para que la piedra no se abriese ó rompiese por causa de la presion que tendría que sufrir.

»La longitud de la clave se hallaría pues determinada, cuando se conociese la presion horizontal que las dos semi-bóvedas ejercen la una contra la otra, y la resistencia de la piedra de que están construidas; bastaría tener en consideracion los choques á que se hallan

espuestas las bóvedas en razon del movimiento de los carruages, para no esponerse á dar un grueso demasiado débil, principalmente en las bóvedas de un pequeño diámetro, donde la presion es poco considerable.

»Si se calcula en esta hipótesis el espesor ó grueso que podría darse á la clave de los arcos mas atrevidos, se hallan cantidades muy inferiores á las que se han fijado por sus constructores. Para el puente de Neuilly, la presion horizontal que la clave sostiene, sobre un metro de longitud, es sobre poco mas ó ménos, de 141000 quilógramas (306449 libras esp.), suponiendo que la bóveda está construida con piedra de *Saillancourt*, de calidad media, de que el metro cúbico pesa 2261 quilógramas (4914 libras esp.). Un cubo de esta piedra de 5 centímetros (2 pulgadas esp.) de lado, estalla bajo un peso de 2994 quilógramas (7107 libras esp.); pero como no se puede hacer sufrir á las piedras sinó un peso inferior al tercio de aquel bajo el cual estallan en los esperimentos, se supondrá que la piedra de *Saillancourt* solo puede sostener 1000 quilógramas (2173 libras esp.) sobre una superficie de 25 centímetros cuadrados (4,6 pulgadas cuadradas esp.); en virtud de esto, la altura de la clave será de 352 milímetros (1 pie esp.), mientras que en la ejecucion es de 1,624 metros (6 pies esp.).

»En el arco de 48,73 metros (175 pies esp.) proyectado para Melun, y formado de un solo arco de 65 metros de radio (233 pies esp.), la presion sobre la clave habría sido de 172000 quilógramas (373824 libras esp.), suponiendo este arco construido con la misma piedra, y hubiera bastado que la altura de su clave fuese de 43 centímetros (1½ pies esp.) mientras que *Perronet* le ha dado los mismos 1,624 metros (6 pies esp.).

»Los gruesos indicados por el cálculo son pues, aun para los puentes que se consideran como los mas atrevidos, muy inferiores á los que acostumbran dar los constructores esperimentados. Pero tambien el cálculo supone que las dovelas, se ajustan exactamente las unas con las otras en toda la superficie de sus planos de union, que se llaman *lechos* y *sobrelechos*; y que despues de la construccion no hay ningun movimiento en las diferentes partes de la bóveda. Esta hipótesis no estaría léjos de la verdad, si los planos de union, ó los lechos y sobrelechos de las dovelas estuviesen perfectamente ejecutados; y si se evitase el ponerlos sobre cuñas ó alzas, adoptando el método que los antiguos han seguido en las construcciones del mismo género; pudiéndose concluir de aquí, que, por este método, se

llegarían á ejecutar puentes mucho mas atrevidos y mas ligeros que todos los que han sido construidos hasta ahora.

»Sin embargo, la alteracion que las piedras sufren por efecto del tiempo, así como las imperfecciones inevitables en la ejecucion de las dovelas, se opondrían á que se redujesen las claves de los puentes á los espesores que, segun el cálculo, parece deberles bastar; pues que el menor astillazo podrá disminuir sensiblemente su resistencia, y poner la bóveda en riesgo de desplomarse. Pero el uso de ponerlas sobre cuñas ó alzas parece ser la principal causa de la gran diferencia que se halla entre los gruesos indicados por la fuerza de la piedra y los que se dan ordinariamente.

»En efecto, las cuñas ó alzas, ántes de la entera desecacion de los morteros ó argamasas, son casi el solo intermedio por el cual las dovelas se sostienen las unas con las otras, donde se ve que la superficie resistente, no es ya la superficie entera del plano de union, sinó que está reducida á la de las cuñas ó alzas; y en virtud de esto, parece que se podría, aplicándole el cálculo precedente, determinar el grueso de la dovela, de modo que la superficie de las cuñas sobre que se coloca, fuese bastante grande para que las partes correspondientes de la piedra pudiesen resistir á la presion. Pero es necesario observar, que la resistencia de la piedra no se podría valuar en este caso, por los esperimentos conocidos, que se han hecho con pequeños cubos aislados.

»Tambien debe notarse que el asiento vertical de una bóveda, esto es, lo que baja por efecto de secarse los materiales, es, á igualdad de circunstancias, tanto mayor, cuanto su clave es ménos gruesa....... y este asiento es tanto mayor, cuanto la curva es mas rebajada.

»Se vé, pues, que comparando la longitud de la clave con la que debería tener para resistir solo á la presion á que está espuesta, se aumenta el valor del asiento vertical (es decir, que baja mas la obra por la espresada desecacion de los materiales); pero como haciendo esta reduccion, se puede disminuir la masa de la bóveda y por consiguiente el valor mismo de esta presion, se puede hacer que las juntas estando entónces ménos comprimidas, su estrechamiento venga á ser ménos considerable, y que estos dos efectos se compensen en parte mutuamente. El cálculo no puede enseñar nada preciso sobre este asunto, porque no se sabe cual es el encogimiento * de las juntas con relacion á las diferentes presiones á que están espuestas.

* Pero si se hiciesen los correspondientes esperimentos, el cálculo daría con una exactitud maravillosa todos estos resultados, que se ponderan tan imposibles.

»No parece, en virtud de lo espuesto, que se pueda establecer en el dia ninguna regla para fijar el espesor ó grueso de las bóvedas de los puentes, cuya cuestion por otra parte no parece susceptible de una solucion general, pues que depende evidentemente de la naturaleza de los materiales y del género de construccion que se adopte *. Si las dovelas estuvieran situadas del modo que las colocaban los antiguos, y que las juntas estuviesen bien labradas, habría ménos arbitrariedad: se podría suponer entónces que las bóvedas no pueden sufrir ningun movimiento despues de su construccion, y bastaría hacer entrar en consideracion la fuerza de la piedra, y la alteracion mas ó ménos grande que es susceptible de recibir por efecto del tiempo y las degradaciones accidentales. Pero en el método casi universalmente recibido, el cálculo no se puede aplicar, á falta de esperimentos, á todos los elementos que se debe hacer entrar en ellos **. Es necesario, pues, limitarse á deducir de los ejemplos que nos han suministrado los constructores mas atrevidos las reglas, en virtud de las cuales, podrá uno guiarse sobre este asunto.

»Se ha visto, que el grueso de una bóveda dependía principalmente de la presion horizontal que su clave debe sostener, y del asiento vertical que esta bóveda debe tomar, con relacion á esta presion. Estas dos cosas dependen en sí mismas de la masa ó mole, que la bóveda está destinada á sostener, y del rebajamiento del vértice del arco comprendido entre los puntos de rotura; y es evidente que la clave debe ser tanto mas larga, cuanto la cuerda de este arco es mas considerable, y menor su flecha ó sagita.

»En dos bóvedas en que la relacion de la sagita á la cuerda fuese la misma, el grueso sería naturalmente proporcionado á la magnitud de esta cuerda; pero no es tán fácil notar cómo este grueso debe variar con relacion al mayor ó menor rebajamiento de la bóveda. El ejemplo de los puentes conocidos puede solo dar algunas luces sobre este punto ***. Con este objeto se ha formado la tabla siguiente que contiene algunos ejemplos elegidos entre las obras bastante atrevidas.

---

* Yo infiero de esto, que si se hiciesen los correspondientes esperimentos acerca de la resistencia de los materiales, y en cada construccion, podrían establecerse reglas tan seguras y exactas como se obtienen para todos los ramos de las Matemáticas aplicadas.

** Debemos insistir en que tan luego como, por la via esperimental, se hayan hecho los competentes ensayos, para obtener los datos necesarios, el cálculo suministrará reglas fijas é invariables que destierren toda clase de incertidumbre en materias tan importantes.

*** Esto debe ser en la actualidad, porque no se tienen los suficientes datos esperimentales; pero cuando se obtengan estos, la Ciencia del cálculo suministrará reglas claras, sencillas é infalibles.

INDICACION DE LOS PUENTES.	Relacion de la flecha ó sagita	Relacion del espesor ó grueso
	A la cuerda del arco comprendido entre los puntos de rotura.	
Puente de Nemours sobre el Loing.	0,055	0,080
Puente de Pont-Sainte-Maxence. .	0,083	0,062
Puente de Neuilly.	0,131	0,048
Puente de mármol en Florencia. .	0,215	0,038
Puente de Vieille-Brionde.	0,307	0,031

»Se ve que la relacion del grueso de la bóveda á la cuerda del arco, comprendido entre los puntos de rotura, disminuye á medida que la sagita del mismo arco aumenta, y que esta disminucion se hace bastante regularmente. Será fácil por medio de esta tabla, determinar el grueso que será necesario dar á la bóveda del puente que se proyecta, no perdiendo de vista las circunstancias que influyen necesariamente sobre determinaciones semejantes, tales como la calidad de la piedra, el modo de construccion y el cuidado con que la obra podrá ser vigilada, &c., &c. Es necesario observar tambien que, en ningun caso debe ser este grueso menor que de 30 á 40 centímetros (1 á 1½ pies esp.)."

42 A continuacion de este capítulo, pone *Mr. Navier* una nota sobre el modo de valuar la resistencia de la piedra, que empieza así:

Pág. 267 "La resistencia de la piedra puede ser considerada de muchas maneras diferentes. Se puede preguntar: 1.° cuál será el peso que una piedra empotrada por uno de sus estremos podrá sostener en el otro; 2.° suponiéndola puesta entre dos superficies horizontales, qué peso podrá sostener sin romperse por la carga; 3.° suponiéndola sostenida verticalmente por la parte superior, qué peso se podrá suspender en el estremo inferior sin obligar á la piedra á romperse *.

»Es raro que, en la disposicion de los edificios, se carguen grandes pesos en los estremos de las piedras; sucede siempre al contrario, ya en la construccion de los puntos de apoyo, ya en la de las bóvedas, que las piedras se hallan comprimidas entre dos superficies pa-

* Para el objeto que nos proponemos en esta obra, sería tambien de la mayor importancia el indagar la presion lateral que podría sufrir una piedra colocada horizontal ó verticalmente para sostener el empuge de un líquido.

ralelas. Del mismo modo, aunque se hayan hecho algunos esperimentos sobre la resistencia de las piedras sostenidas en uno de sus estremos, la investigacion de su fuerza, considerada bajo este punto de vista, apenas se ha principiado, mientras que se puede mirar actualmente la investigacion de la resistencia de las piedras colocadas de plano, si no como enteramente completa, al ménos como muy adelantada.

»No ha mucho tiempo, que se ha tratado de dar á conocer el peso que las piedras son capaces de sostener; y si se considera el grande espesor que los antiguos han dado por todas partes á los puntos de apoyo de sus edificios, será preciso creer que tenían poca idéa de la resistencia de los materiales que empleaban. La valentía de los Arquitectos de la edad media, que han hecho algunas veces apoyar masas considerables sobre columnas muy delgadas y muy altas, debería por el contrario, hacer pensar que habían estudiado bajo esta relacion, la propiedad de las piedras. Pero no ha quedado ningun rastro de las investigaciones que han podido hacer, y segun el estado de las ciencias en los siglos bárbaros, en que vivieron, es mas natural creer que procurando con poca reflexion, escederse en ligereza los unos á los otros, estos Arquitectos han llegado á límites que hubiera sido posible traspasar aun.........

»Las discusiones á que dió orígen la cúpula de la Iglesia de Santa Genoveva en París, han proporcionado la ocasion de las primeras investigaciones sobre la resistencia de las piedras."

43 Siguen despues en el Autor los esperimentos y tablas de sus resultados; creemos que ambas cosas son de gran utilidad para los Franceses; mas para nosotros no lo son tanto, pues que, hablando con todo rigor, no sirven las consecuencias y datos que se tomen de los materiales de fuera de España, ya porque no nos surtimos de aquellas canteras, y ya tambien porque en una misma varía la resistencia de las piedras segun son estraidas de la parte inferior, media ó superior.

Para dar una prueba del sólido fundamento con que emitimos esta opinion, basta observar los resultados que se ponen acerca de una misma sustancia, como por ejemplo el *granito*, que entre nosotros se llama *piedra berroqueña*.

En efecto, observando la tabla núm. 2, pág. 292, se advierte que *del granito verde de los Vosges*, cuyo peso específico es 2,854, un cubo de cinco centímetros de lado, se rompe, abre ó estalla por una presion de 15487 quilógramas (33661 libras esp.).

Esto equivale á que un cubo de poco mas de 2 pulgadas esp. de lado, estalla bajo un peso de 33661 libras esp.

"El cubo, de las mismas dimensiones, del *granito gris de Bretaña*, cuyo peso específico es de 2,737 estalló bajo una presion de 16353 quilógramas (35543 libras esp.).

»El de *hoja muerta de los Vosges*, cuyo peso específico es de 2,664 estalló bajo la de 20482 quilógramas (44518 libras esp.).

»El cubo de las mismas dimensiones, del *granito de Normandía*, cuyo peso específico es de 2,662, estalló bajo una presion de 17555 quilógramas (38156 libras esp.).

»El de otro *granito*, llamado del *campo de Boul*, cuyo peso específico es de 2,643 estalló bajo una presion de 20441 quilógramas (44429 libras esp.).

»El de *granito rosa oriental*, cuyo peso específico es 2,662 estalló bajo una de 22004 quilógramas (47826 libras esp.).

»El de *granito gris de los Vosges*, cuyo peso específico es 2,640 bajo la de 10581 quilógramas (22998 libras esp.)."

Estas diferencias en las resistencias son demasiado considerables para poder inferir nada por analogía respecto de nuestro pais. Sin embargo, segun el aspecto esterior del granito ó piedra *berroqueña*, que se usa en Madrid, me parece que tiene visos de resistir mas que los que acabamos de citar. Por otra parte, nuestra piedra llamada de *Colmenar*, porque se estrae de la cantera de Colmenar de Oreja *, resiste mejor que la que se usa en París en las construcciones; mas por otra parte la de París reteniendo por mas tiempo el agua de cantera, se trabaja con mucha facilidad.

44 En la misma nota pág. 272 dice *Mr. Navier*: "Es igualmente importante notar que en los esperimentos en que se aumentaba

* Esta cantera consta de siete bancos ó capas, que entre todos tienen un grueso de quince pies: el banco mas grueso tiene unos seis pies. Los bancos ó capas no son igualmante gruesos en toda su estension; pero todos juntos no componen mas de los 15 pies: de manera, que si el banco ó capa de mayor grosor, en vez de ser de seis pies fuese de siete, entónces el grueso de los demas y con especialidad el de los inmediatos sería menor, á fin de que entre todos compongan los 15 pies. La piedra de Colmenar resiste mucho; pero como su testura es astillosa, conviene usarla donde tenga redondeadas las esquinas. La piedra berroqueña, cuando abunda de mica, no es la mas á propósito para las partes de los edificios espuestas á la humedad; pues esta la descompone, originando oquedades que ocasionan al cabo de tiempo su destruccion. Tal vez por esta causa se ha colocado la de Colmenar en las partes inferiores de la galería en la plaza del sur del Real Palacio de Madrid.

sucesivamente la presion, á que las piedras estaban sometidas, la mayor parte han manifestado leves hendeduras, ántes de estar cargadas con todo el peso que ha sido necesario para que se rompan ó abran enteramente. Dejando obrar la carga durante uno ó dos dias, la piedra estallaba entónces bajo un peso ménos considerable. Así, no es posible en las construcciones, suponer la resistencia de las piedras igual á la indicada en las tablas que contienen los pesos bajo los cuales estallan ó se rompen; y parece aun que dándoles el tercio de esta fuerza, como se ha hecho en el testo, se corrían todavía riesgos en muchos casos.

»Se puede, sin embargo, observar sobre este asunto, que masas de piedra, como las que se emplean en las construcciones deben ofrecer una resistencia específica mayor que los cubos aislados de cinco centímetros, sobre que se han hecho los esperimentos, y por consiguiente que no puede haber ningun peligro en hacerles sostener el tercio del peso bajo el cual estos cubos han estallado."

45 De los esperimentos hechos (tabla de la pág. 293) sobre la resistencia de la piedra, á diferentes profundidades de la cantera, resulta que los cubos de en medio resisten mas que los superiores y que los inferiores; que en el medio se observa generalmente mayor peso específico, aunque no siempre.

No parece fuera del caso advertir, que para minorar el peso de las bóvedas, sin disminuir su resistencia, ó acaso aumentándola, se ha ideado en estos últimos tiempos hacerlas con *ladrillos huecos*, en vez de piedra. Lo cual es muy ventajoso segun tiene acreditado la esperiencia, y yo lo he presenciado en el Arsenal de *Toulon*, que todo él está hecho de bóveda á prueba de bomba con estos ladrillos, sin que se tenga nada que recelar por los incendios; pues en todos aquellos hermosos edificios no se ha empleado madera alguna. Yo ví hacer los espresados ladrillos y tengo las noticias y datos convenientes para poderlos ejecutar en caso necesario.

46 El capítulo IV trata del espesor, que se debe dar á los pilares, machones ó pilas de los puentes, y principia así:

Pág. 299 "Se ha reservado para este capítulo el desarrollo de la teoría de las bóvedas en *cañon seguido*, porque esta cuestion es la mas importante de todas las que se pueden resolver por esta teoría. Pero ántes de manifestarla, vamos á indicar las principales investigaciones á que ha dado lugar." La seccion 1.ª contiene *la teoría de las bóvedas y observaciones en que se fundan.* Principia así: "*Perronet* ha hecho en sus obras la descripcion de los movimientos que se

han manifestado en las grandes bóvedas de cuya construccion estuvo encargado.

»Estos mismos esperimentos se han repetido por *Boistard*.

47 Hace aplicaciones de dicha teoría al espesor de los estribos, y en la pág. 323 dice:

"La tabla siguiente contiene los resultados de este cálculo para las bóvedas mas frecuentemente usadas. Se ha supuesto que la abertura de estos arcos era de 20 metros (71,78 pies esp.); que su espesor en la clave era de 1 metro (3,5889 pies esp.), y que la parte superior estaba estradosada y á nivel.

INDICACION DE LAS ESPECIES DE BÓVEDAS.	Espesor de los estribos. Metros.	Posicion de los puntos de rotura. Grados (decimales).
Medio punto.	0,45	30
Ansa de panier rebajada al tercio.	0,66	50
Id. rebajada al cuarto.	0,82	60
Arco de círculo de un sesto de la circunferencia levantado sobre pies derechos de 5 metros de altura. .	2,95	0

Nota. "Los números de grados comprendidos en la tercera columna están contados partiendo de los arranques, y sobre el pequeño arco en las ansas de panier, descritas con tres arcos iguales, cada uno al sesto de la circunferencia.

48 Despues pág. 327 dice: »Acerca del rozamiento, *Mr. Boistard* ha procurado determinar sus efectos, y ha encontrado que *la relacion del rozamiento á la presion era constante*; y que tomando el mas pequeño valor dado por los esperimentos, *esta relacion para una piedra labrada á cincel resbalando sobre una piedra semejante, ó lo que sobre poco mas ó ménos es lo mismo, sobre una superficie de mezcla, endurecida al aire, era igual á* 0,76 *ó cerca de cuatro quintos.*

Considerando el equilibrio de las bóvedas bajo este nuevo punto de vista, se halla para los estribos, espesores diferentes de los que estaban indicados en la tabla anterior..........y deduce que: "Suponiendo el peso de la albañilería de 2600 quilógramas por metro cúbico."

INDICACION DE LAS ESPECIES DE BÓVEDAS.	Espesor de los estribos.	Posicion de los puntos de rotura.
	Metros.	Grados (decimales).
Medio punto.	1,32	15
Ansa de panier rebajada al tercio.	1,62	35
Id. rebajada al cuarto.	2,24	45
Arco de círculo de un sesto de la circunferencia.	3,09	0

Nota. »Los números de la tercera columna están contados aquí, como en la primera tabla.

49 En la pág. 331 pone la siguiente

Tabla de comparacion para el espesor de los estribos en una bóveda de 20 metros de abertura, determinada por diferentes Autores.

Indicacion de las especies de bóvedas.	Espesor hallado por Gauthier.	Espesor dado por Pollin.	Espesor dado por Rondelet.	Espesor dado por Gauthey.	Espesor dado por la teoría. El estribo es arruinado	Espesor dado por la teoría. El estribo es rechazado.
	Metros	*Metros*	*Metros*	*Metros*	*Metros*	*Metros*
Medio punto.	5,43	2,28	1,82	3,44	0,45	1,32
Ansa de panier rebajada al tercio.		3,03	2,14	3,76	0,66	1,62
Ansa de panier rebajada al cuarto.			2,30	3,91	0,82	2,24
Arco de círculo de un sesto de la circunferencia elevado sobre pies derechos de 5 metros de altura.			2,47		2,95	3,09

Nota. »Los números puestos en la quinta columna se han sacado de las tablas que hemos publicado en seguida de nuestra *disertacion sobre las degradaciones del Panteon Francés.*"

De esta tabla se deduce para la relacion del ancho, abertura ó diámetro del arco con el grueso del machon que, segun Gauthier,

dicha relacion es 3,68, segun Pollin 8,77, segun Rondelet 10,98 segun Gauthey 5,81. La relacion media entre estas cuatro relaciones es 7,31.

50 En la pág. 339 hay una nota sobre *la fuerza de adherencia de las mezclas de cal y arena*, *y acerca de la relacion que tiene el rozamiento con la presion para las piedras que resbalan unas sobre otras*. El párrafo 1.° contiene los esperimentos sobre la adherencia de las mezclas. Pone muchos esperimentos citando á *Boistard*, cuyos resultados omitimos por las razones dadas (25).

51 El párrafo segundo, pág. 343 contiene los *esperimentos sobre el rozamiento de las piedras que resbalan unas sobre otras* ....y resulta que el *rozamiento* es proporcional *á la presion*, *y que lo mas ó ménos áspero de las superficies, influye poco sobre el valor de este rozamiento*, *que es siempre igual á los cuatro quintos de la presion*.

52 El capítulo quinto trata del espesor y de la forma de los machones ó pilares de los puentes. En la seccion 1.ª trata del espesor; y dice así:

Pág. 345 "Los machones de los puentes pueden considerarse bajo dos puntos de vista esenciales: se pueden considerar como destinados á sostener el peso de los arcos, ó á servir de estribos y resistir el empuge de las bóvedas.

»En las obras antiguas, los machones tienen siempre espesores considerables...... Los puentes construidos en la edad media están sostenidos, como los puentes antiguos, por machones mas gruesos aun de lo que sería necesario para ejercer la funcion de estribos.

»Cuando los Ingenieros sometieron al cálculo el empuge de las bóvedas, y determinaron segun la hipótesis de la Hire, el espesor necesario á los estribos, creyeron que los machones debían tener este mismo espesor; y en virtud de este principio, se han proyectado la mayor parte de los grandes puentes construidos en el último siglo, ya en Francia, ya en los demas paises de Europa......

»Pero cuando se han construido al fin del último siglo, grandes bóvedas en *ansa de panier* muy rebajadas, y arcos de medio punto con un gran radio, ha sido preciso renunciar á la ley que se había adoptado de dar á las pilas ó machones el espesor necesario para resistir el empuge de los arcos. Si se hubiera continuado ciñéndose á este uso, hubiera sido necesario construir machones enormes, que al inconveniente de dar á la obra un aspecto estremadamente pesado, hubieran reunido otros mas importantes aun, á saber, los de origi-

nar gastos considerables, y de obstruir mucho la salida ó paso del agua.

»Este último defecto da efectivamente lugar á la principal objecion que se hace contra los machones gruesos. La resistencia que un machon opone á la corriente y la contraccion que le hace padecer, dependen en gran parte del ancho de este machon; y á igualdad de circunstancias, un puente cuyos machones sean gruesos, estará mas espuesto á socavamientos, que aquel en que sean mas delgados; y será necesario por esta sola razon aumentar la superficie de su salida y por consiguiente su longitud. Pero se puede disminuir la fuerza de esta objecion, observando que cuando las dimensiones de un machon son un poco considerables, es difícil que sea trastornado por una sola crecida; se puede casi siempre detener los progresos de los socavamientos ántes de que hayan venido á ser peligrosos ó perjudiciales. Un machon estrecho no puede gozar de las mismas propiedades, á ménos que no lleve anchos zócalos ó retallos, y entónces la ventaja que ofrece bajo el aspecto económico, se reduce casi á nada.

»Pero si el ligero ahorro que se puede hacer en la fábrica, empleando machones estrechos, es muy poco, y si nó lo hay sobre la fundacion, en razon de los anchos retallos sobre que es conveniente establecerlos, necesitan un aumento considerable en el gasto de las cimbras, porque obligan á encimbrar todos los arcos á un mismo tiempo, mientras que sin esto las maderas empleadas en los dos primeros pueden servir para todos los otros. Este inconveniente es casi siempre muy importante, y lo vendrá á ser mas, cuanto mayor sea la escasez de madera. En los casos aun, en que no hay ningun peligro en hacer descansar los arcos sobre machones muy delgados, como cuando se hallan establecidos sobre la roca y que no se teme que ninguno de ellos puede jamas ser trastornado, el aumento de precio de las cimbras puede obligar á desechar totalmente el empléo de estas pilas y á proscribir por consiguiente los arcos muy rebajados que las exigen absolutamente *. Parece efectivamente que los arcos en arco de círculo ó en ansa de panier muy rebajados, deben siempre ser sostenidos sobre machones poco gruesos, y que una de estas disposiciones lleva consigo la otra. Los inconvenientes que resultan del empléo de machones delgados se unen pues á todas las razones que se oponen á que las bóvedas muy rebajadas se adopten por punto general para la construccion de los puentes, y que parecen

* Esta objecion no tiene tanto peso entre nosotros, porque tenemos mas abundancia de maderas.

probar que no se debe uno servir de estas especies de bóvedas sinó en circunstancias en que sería imposible proceder de otro modo.

»Cuando no se puede dar á todos los machones el espesor que deberían tener, y sin embargo la gran longitud del puente y la naturaleza del terreno dejan algunos temores sobre la solidez de la obra, se puede adoptar una disposicion que disminuya un poco los peligros que resultan de servirse de machones delgados. Se puede dividir el puente en muchas partes, construyendo de espacio en espacio pilares ó machones capaces de sostener el empuge de las bóvedas. Entónces, si un machon intermedio se llega á caer, este acontecimiento produce, es verdad, la ruina de algunos arcos; pero no hay precision de volver á construir de nuevo todo el puente."

53 La seccion segunda trata de la forma de los pilares ó machones, y principia así:

Pág. 349 "La forma de los machones, y sobre todo la de los tajamares, es un objeto importante; y que, cuando aquellos son muy anchos, puede influir considerablemente sobre la solidez y la duracion del puente. Cuando esta forma está mal concebida, es efectivamente una de las causas de los socavamientos que se manifiestan, y aumenta la energía de las que pueden proceder de otras partes.

»A primera vista, parece que si la salida de un puente está arreglada, en términos que la relacion marcada por el régimen del rio entre la resistencia del suelo y la velocidad media de la corriente, no se altere mucho, es imposible que sobrevenga ningun socavamiento; lo que sería indudable si la velocidad media se distribuyera uniformemente en toda la masa de las aguas que pasan por debajo del puente. Pero los obstáculos que los machones y los arranqués de los arcos oponen á la corriente perjudican á la igual reparticion de la velocidad; y al paso que se forman corrientes particulares muy rápidas, se ve en otros que las aguas dan vueltas y retroceden hácia el parage de donde vienen. Es pues muy importante dar á los machones la forma que sea mas adecuada, para precaver estos acontecimientos, cuyas consecuencias son mas ó ménos peligrosas.

»En los machones de los puentes antiguos, la base ó planta de los tajamares es por lo comun un semicírculo ó un triángulo rectilíneo; pero los constructores modernos, por lo regular, han redondeado los ángulos formados por los lados de los tajamares y del cuerpo del machon. Se hallan algunos puentes construidos en la edad media, en que no pusieron tajamar alguno, y los machones están termina-

dos paralelamente á los frentes. Esta última disposicion es la mas viciosa de todas............

»Se sabe que cuando el agua se introduce en un canal mas estrecho, que aquel en que ántes corre, debe aumentarse la velocidad por efecto de lo que mengua la seccion; si la entrada del canal estrecho no tiene la forma embudada, ó contraida, y la seccion disminuye repentinamente, hay entónces una contraccion que causa en la corriente una velocidad mayor de lo que exige el decremento de la seccion. Es pues en estremo importante hacer de modo que aquella contraccion sea lo ménos fuerte posible; y este objeto es tanto mas esencial, cuanto que de este modo se evita la caida que ocasiona á lo largo del machon, y que es la causa de los socavamientos. Con esta mira, hemos procurado comparar los efectos de la contraccion para machones de diversas formas en esperimentos que vamos á presentar................

»Se ve por estos esperimentos que si las superficies del tajamar están unidas con las del machon por una curva que les sea tangente, y que el agua no suba mas que los arranques de los arcos, no se forma caida á la espalda; y que entónces se originan otras dos corrientes, al lado de las que cubren el machon y que son poco rápidas. En este caso no son de temer los socavamientos; y tanto ménos cuanto las corrientes mas rápidas son las mas distantes del machon. Puede notarse tambien, que el machon elíptico ofrece grandes ventajas sobre todos los otros, y ocasiona una contraccion mucho ménos considerable, porque las corrientes laterales divergen á menores distancias.

»Respecto de los tajamares cuya forma ó planta es triangular, el triángulo equilátero es mucho mas preferible que el triángulo rectángulo que presenta un obstáculo casi de tanta consideracion como el machon rectangular, y es acaso mas peligroso; porque el sitio de la mayor corriente se halla entónces en el ángulo de la espalda, mientras que en el machon rectangular se aleja un poco. Es necesario pues, si se emplean superficies rectilíneas, preferir el triángulo equilátero, cuidando de redondear el ángulo opuesto á la corriente, si se teme por parte de la solidez.

»El tajamar, cuya planta ó forma es un triángulo equilátero mixtilíneo, es preferible á todos los otros. Reune la doble ventaja de producir la menor contraccion posible, y originar los menores socavamientos; y de presentar en el ángulo saliente bastante solidez, puesto que este ángulo se mide por la tercera parte de la circunferencia. El

machon ovalado es el único que ocasiona una contraccion ménos considerable, y que puede preferirse bajo este respecto."

Los esperimentos hechos se verificaron en una corriente en que la velocidad era 3,9 metros por segundo; y como los rios adquieren algunas veces mayor velocidad en sus crecientes, se han hecho otros esperimentos dando á la corriente una velocidad de 4,87 metros. Los cuales confirman casi en todas sus partes los resultados de los anteriores. Y despues añade; "Pero conviene no olvidar que los tajamares tienen tambien por objeto romper los hielos, é impedir que ningun cuerpo flotante se detenga contra los machones de un puente y disminuir allí la seccion, lo que propendería necesariamente á ocasionar socavamientos.

» Los hielos son, en los parages donde la temperatura es la misma, tanto mas peligrosos, cuanto es mas lento el curso de los rios. Efectivamente, en este caso se hielan mas pronto, y los carámbanos ó témpanos que han tenido tiempo de adquirir un grueso mas considerable, se desprenden en grandes masas. Es pues muy esencial, sobre todo en este caso, tomar precauciones relativas al objeto que puedan producir y hacer mas agudo el ángulo saliente. Si se teme por parte de la solidez, se le podrá sujetar con fajas de fierro ó de un prisma de bronce empotrado en la fábrica.

» La forma de la parte posterior de los tajamares no es tan importante como la de las partes anteriores al machon, y aun vemos muchos puentes antiguos que no los tienen. En este caso, el espacio que debían ocupar, está reemplazado por agua estancada que forma remolino; lo cual conviene precaver. Es pues mas ventajoso construir la parte posterior de los tajamares, á los que se puede dar la misma forma que en la parte anterior. Cuando un rio se ha estrechado por un obstáculo, tal como un machon, cuyo efecto es disminuir el ancho de álveo, las dos corrientes que se forman á lo largo de sus caras, se vuelven á juntar abajo, despues de haber trazado una especie de triángulo curvilíneo. Se reunen luego despues de haberse prolongado por cada lado de las caras del tajamar de la parte inferior, y resultan comunmente de esta circunstancia socavamientos tan frecuentes en la parte de abajo, como en la de arriba de los puentes. Esto debe empeñar á los constructores, no solo á no suprimir jamas los tajamares inferiores, sinó tambien á prolongarlos mas de lo que se acostumbra.

» Cuando las aguas se elevan mucho sobre los arranques de los arcos, la forma del tajamar influye muy poco sobre la naturaleza

de la contraccion, que entónces depende principalmente de la forma del arco, y del modo con que el *intrados* de la bóveda está combinado con las caras del tajamar...............

»Los tajamares destinados á dividir las aguas y á romper los hielos deben elevarse hasta el nivel de las mayores crecientes, ó por lo ménos hasta la altura donde se hacen los deshielos. No obstante, se observará que en los arcos de puentes en forma de *ansa de panier* y de medio punto, los tajamares disminuyen poco la contraccion cuando las aguas suben mucho sobre los arranques; porque los tímpanos del arco presentan entónces una gran superficie opuesta directamente á la corriente. Los tajamares no sirven mas que para recibir el primer choque de los carámbanos.

»En el último siglo, muchos han escrito de la forma y ornato de la terminacion de los tajamares. Este objeto no es muy importante; pero lo es mucho la solidez de su construccion. Las terminaciones de los tajamares se destruyen fácilmente, y nacen muchas veces en sus junturas plantas que aumentan su destruccion. Se precaverá este inconveniente formándolas con grandes piedras preparadas con cuidado."

54 El capítulo 6.° trata de las avenidas de los puentes; y su seccion segunda, *de los muros de revestimiento de las tierras*; y dice así:

Pág. 371 "Los puentes van casi siempre acompañados en sus orillas de muros de revestimiento destinados á sostener el empuge de las tierras; por lo que, hemos juzgado conveniente esponer aquí los principios en virtud de los cuales se establecen los muros de esta especie. La investigacion de estos principios ha ocupado en el último siglo á un gran número de Sábios; pero sus teorías no son actualmente de ningun interes, y no entrarémos en ningun detalle sobre las que se han dado ántes de 1773, época en que *Coulomb* en la memoria citada capítulo IV ha considerado por la primera vez esta cuestion con las circunstancias físicas de que se halla complicada. Él ha investigado, atendiendo á la cohesion de las tierras y al rozamiento, cual era el prisma que ejercía el mayor empuge sobre el muro de revestimiento, y ha encontrado, para determinar este prisma, una espresion en que entraba solamente la altura del muro y la relacion del rozamiento á la presion.

» *Mr. Prony* ha analizado la cuestion con mucho cuidado y exactitud, y ha llegado á un teorema que da el prisma de mayor empuge bajo una expresion muy simple. Este teorema se ha publica-

do por la primera vez en su *Mecánica Filosófica*; y *Mr. Prony* lo ha espuesto de nuevo en 1802 en sus *Investigaciones sobre el empuge de las tierras*; y en virtud de esta obra, vamos á dar aquí la construccion de los muros de revestimiento.

»Esta teoría comprende dos cuestiones: en la primera, se trata de evaluar la accion de las tierras sobre el muro; en la segunda, es necesario buscar la forma y las dimensiones que es conveniente dar al muro para resistir á esta accion. Se las va á tratar sucesivamente.

»Deduce pág. 376 que el *punto de aplicacion de la fuerza que resulta del empuge de las tierras está situado al tercio de la altura del terraplen.*

55 El tomo 2.° del *Tratado de la construccion de los puentes por Mr. Gauthey principia por el Lib.* 3.° *que trata de las cimbras, de los puentes de madera y de fierro, y de los puentes móviles*, &c. El Lib. 4.° trata de los *detalles de construccion de los puentes*, y el capítulo 1.°, que versa *sobre el establecimiento de las fundaciones*, principia de este modo:

Pág. 173 "El establecimiento de las fundaciones ó cimientos es el objeto mas importante en la construccion de los edificios, cuya duracion se quiere perpetuar. Esta observacion se aplica particularmente á los puentes, donde los puntos de apoyo contienen cargas considerables, y deben descansar no solo sobre una base incompresible, sinó ser preservados de rompimientos. Los accidentes que resultan de esta última causa de destruccion, son aun mas frecuentes y difíciles de precaver, que los que provienen de falta de consistencia en las partes del fundamento.

»Apenas conocemos los métodos que empleaban los antiguos para construir los cimientos, y tenemos pocos escritos sobre esta materia *. Por lo cual, debe ilustrarse con una sabia teoría; y es necesario tener una larga práctica para elegir bien el método que mejor conviene, tanto á las circunstancias en que cada uno se halla, como á las diversas calidades del terreno, y á los materiales disponibles en los puntos en que se trata de edificar.

»De la naturaleza ó calidad del terreno en que se edifica depen-

* En mi concepto, los antiguos no empleaban métodos diferentes que los ordinarios del dia; y todo lo que se ha dicho acerca de este punto, sobre la ciencia de los Romanos, para hacer unos edificios que han durado tanto tiempo, mas bien se debe á la casualidad, como manifestarémos en el § 86 de este mismo libro.

den únicamente los procedimientos que se deben seguir, y es necesario abstenerse de adoptar como generales ciertos métodos particulares, que aunque sean á propósito en algunos casos, no se pueden aplicar siempre con la misma ventaja.

» Sin entrar por ahora en la descripcion minuciosa de las diversas clases de terreno que forma el fondo de los rios, observarémos que se pueden presentar tres casos muy diferentes, cuya descripcion aclarará mucho esta materia. El primero, que desgraciadamente no es comun, es aquel en que la consistencia del fondo es tal que se pueda fundar ó crear en ella inmediatamente el cimiento sin tener recelo de que se baje la obra. El segundo es aquel en que el fondo se compone de capas de materias poco consistentes y susceptibles de ser trasportadas por las aguas, debajo de las cuales se hallan otras capas mas sólidas, en que las estacas se detengan despues de haber atravesado las primeras. El tercer caso comprende los fondos en que las capas, que no son capaces de sostener la carga de los materiales empleados en las construcciones, ni de resistir á la corriente, tienen tal espesor, que las estacas con que se atraviesan no pueden llegar á otras capas mas sólidas ni por consiguiente rebotar *.

» A cada uno de estos casos pertenece un modo particular de construir el cimiento, cuya ejecucion se modifica segun la diversidad de circunstancias locales, y que vamos á tratar sucesivamente."

56 En efecto, *Mr. Gauthey* lo verifica, y con sagacidad, conciliando cuanto se puede apetecer segun el actual sistema de construccion; pero todos los medios son muy costosos y aventurados; y esto es lo que nosotros tratamos de evitar en nuestra nueva construccion de obras hidráulicas. El capítulo 2.º trata de *las operaciones preliminares de la fundacion de los puentes*, y en la pág. 246 reasume todo lo dicho sobre este particular en la siguiente

---

* La señal de que la estaca no puede introducirse mas, es que al recibir el golpe, en lugar de penetrar, salta ó rebota.

Comparacion de las máquinas para agotar el agua.

INDICACION DE LAS MAQUINAS.	Volúmen de agua que un hombre puede subir en 24 horas á un metro de altura.	Relacion entre el efecto útil y la fuerza empleada.	Precio del metro cúbico de agua levantado en 24 horas á un metro de altura.
	Metros cúbicos.		*Francos.*
Desagüe por medio de cubos. .	46	0,66	0,042
Rosario inclinado, movido por hombres.	68	0,44	0,035
Bombas.	84	0,50	0,028
Rosca de Arquímedes.	90	0,58	0,023
Rosario vertical.	117	0,75	0,021
Rosario inclinado, movido por caballos.	..	0,37	0,013
Rueda de tímpanos.	180	0,90	0,011
Rosario inclinado, movido por una rueda de paletas. . . .	..	0,11	0,007
Rueda de cajones, movida por una de paletas.	..	0,70	0,004

»Se ve por esta tabla que el precio de los agotamientos puede variar de uno hasta diez; y que cuando deben ser considerables, la eleccion de los medios para conseguirlos, es un objeto de mucha importancia. Entre las máquinas movidas por los hombres, parece que el rosario vertical es el mas económico, despues de la rueda de tímpanos. Pero si se considera la incertidumbre del efecto del rosario, cuyos reparos mas ó ménos frecuentes hacen perder mucho tiempo, con los otros inconvenientes detallados ántes, y principalmente con la necesidad casi absoluta de levantar el agua mucho mas alta que lo necesario, su aparente economía no debe hacerle preferible á la rosca de Arquímedes, de la que parece, por otra parte, se puede sacar mejor partido que hasta aquí.

»Las bombas tienen la ventaja de hacer elevar el agua á la altura que se quiera; pero en consideracion á los reparos que exigen, ofrecen sobre poco mas ó ménos los mismos inconvenientes que los rosarios. Es necesario renovar frecuentemente los cueros del émbolo; y cuando se ponen nuevos, se hallan tan justos, que causan

un gran rozamiento. Los cueros viejos no presentan tanta resistencia, pero se desperdicia mucha agua *.

»Los rosarios inclinados, á ménos que no sean movidos por caballos, lo que exige un establecimiento costoso é incómodo, cuyos gastos solo pueden cubrirse con grandes sacrificios, hacen subir los agotamientos á un precio muy elevado; y como estas máquinas, bastante costosas en su conservacion, no ofrecen ventaja alguna particular, no se alcanza en qué circunstancias deben emplearse con preferencia.

»Segun lo que resulta de los últimos puentes construidos en Francia, parece que el método de los cajones ú otros procedimientos análogos se adoptarán generalmente para lo sucesivo en la construccion de los grandes edificios de este género. No habrá pues agotamientos muy considerables que hacer, ni por consiguiente ocasiones de emplear las máquinas movidas por la corriente, que, en este caso, serían las mas ventajosas. La rosca de Arquímedes, que conviene á profundidades cortas, parece deberse preferir siempre, y no se ocurrirá al desagüe con cubos, sinó cuando las filtraciones no sean suficientes para emplear una rosca."

Aunque aquí aparece que la rueda de tímpanos produce 0,90 para el efecto útil, y que por lo mismo da lugar á creer que es la mas ventajosa; no obstante, si se examina lo que dice *Perronet* al usarla, no se debe establecer esto por regla general. Del mismo modo se debe observar que el resultado, que aquí se da, es bien diferente del adoptado por *Mr. Hachete* (*Tratado elemental de las máquinas* pág. 90), que admite, en virtud de la bomba establecida en Marly, que eleva el agua de un solo tiro á 155,5 metros (558 pies esp.) de altura vertical, que no se debe contar con que este género de máquinas utilice $\frac{1}{10}$ de la fuerza que se le aplica. Pero se creerá difícilmente que esta relacion, fundada sobre un esperimento hecho en circunstancias casi muy diferentes de las que ocurren generalmente, puede convenir á todas las bombas.

58 En el capítulo 3.° trata *de las operaciones que hay que practicar en la fundacion de los puentes*; en su primera seccion, se ocupa de todo lo relativo á las *estacas* ó *pilotes*; y en la segunda, de los (*enrochements*), palabra que traducimos *enrocamientos*, por no haber encontrado ninguna otra mas adecuada. El Autor distingue

---

* Debemos añadir, que las bombas para las operaciones en grande tienen ademas el inconveniente de que hablarémos en el Lib. 6.°

los de piedra seca, de los de hormigon; y acerca de los primeros se espresa de este modo:

Pág. 271 "Los enrocamientos con piedra seca (que nosotros llamamos *fabricar á piedra perdida*), no se empléan en la actualidad sinó en los contornos de las fundaciones, ó en los intérvalos de las estacas; en otro tiempo, formaban frecuentemente la fundacion misma de las pilas ó machones, y de los estribos, especialmente en los rios rápidos y profundos. Se practican conduciendo al parage de la obra piedras que se trasportan en barcos ó carretas y se dejan caer á mano *. Se tiene cuidado de colocar fuera las mas gruesas, y aun algunas veces mezclarlas con otros cantos mas pequeños para rellenar los intérvalos. Por otra parte, el grueso de los materiales debe ser proporcionado á la velocidad de la corriente, y depende tambien de la inclinacion del talud del enrocamiento.

» Se pueden hallar por medio del cálculo las dimensiones que deben tener las piedras, para no ser arrastradas por una corriente de velocidad conocida. En efecto, supongamos que su forma sea un paralelepípedo rectángulo, que es lo que regularmente se verifica respecto de las piedras estraidas de las canteras, y llamemos a la dimension de la base, perpendicular á la corriente; b la dimension paralela á la corriente, y c la altura, que se supondrá la menor de las tres **: considerando la piedra colocada en un plano horizontal, la fuerza con que obrará la corriente, sobre la cara que se le opone, estará representada (conforme á la teoría suficientemente confirmada por los esperimentos) por Hac, siendo H la altura debida á la velocidad del fluido; por consiguiente, si P es el peso específico de la piedra, y p el del fluido, se tendrá para espresar que el peso de la piedra se equilibra con el impulso del fluido, $\frac{1}{2}c.Hac=\frac{1}{2}b.(P-p).abc$; de donde se saca $\frac{b^2}{c}=\frac{H}{P-p}$ (A); lo cual establece de un modo muy sencillo, la relacion que debe existir, entre el ancho y altura de una piedra, para que pueda resistir á una corriente cuya velocidad sea dada. Si se supone $b=c$, la ecuacion se reducirá á $c=\frac{H}{P-p}$; y se tendrá de este

* Así se hace tambien para formar los muelles, como yo lo he visto en Málaga.

** *Mr. Gauthey* usa de una letra griega para esto, y nosotros hemos creido conveniente esplicarlo así para mayor claridad.

modo la menor dimension que sea posible dar á las piedras, cuya altura sea igual al ancho, para que resistan á una cierta velocidad de la corriente.

»De aquí pueden deducirse muchas consecuencias útiles en la práctica. Se concluirá, por ejemplo, que sería perjudicial el no dar alguna importancia á la forma de los trozos de piedra, con que se revisten las paredes en los enrocamientos, á que se suelen llamar *plata-bandas*, y que es esencial para la economía y solidez de la obra, el dar á estos trozos una forma que sea lo mas chata posible. En efecto, siendo el mismo el peso específico, el coste de las piedras es casi proporcional á su volúmen; de modo que si c y c' representan las alturas de dos piedras que tengan la misma base, la relacion de los gastos que ocasionarán será $\frac{c}{c'}$, mientras que la relacion de las alturas debidas á las velocidades á que harían equilibrio * será $\frac{c'}{c}$: de donde resulta que una piedra que cuesta cuatro veces mas que otra, no resistiría sinó á una velocidad dos veces menor.

»Tambien podría juzgarse, por lo que precede, del talud que conviene dar á las paredes de los enrocamientos en razon de la velocidad de la corriente, y de las dimensiones de las piedras que se emplean.....................

»Mucho se ganaría en disminuir el grueso de las piedras; porque si no se las diese por ejemplo, sinó 35 centímetros (1 pie esp.) de altura (que entre nosotros se llaman *sillarejos*), dejándoles siempre 70 centímetros (2 pies esp.) de ancho, resistirían á una velocidad

---

* En efecto, despejando H en la (ec. A), se tendrá $H=\frac{b}{c}(P-p)$; y espresando por H' la altura debida á la velocidad del fluido correspondiente á la piedra cuya altura es c', será $H'=\frac{b^2}{c'}(P-p)$; puesto que b es la misma para los dos. Dividiendo estas dos ecuaciones se tiene $\frac{H}{H'}=\frac{\frac{b^2}{c}(P-p)}{\frac{b^2}{c'}(P-p)}=\frac{c'}{c}$, que espresa lo que dice el testo.

de 5,24 metros (19 pies esp.), y se tendría mas solidez con mucho ménos gasto.

»Consideramos la velocidad de 4 á 5 metros (14 á 18 pies esp.) por segundo, como un límite, á que la velocidad de los rios y aun de los mas rápidos torrentes, con dificultad puede llegar. Así, reduciendo el grueso de las piedras á 35 ó 40 centímetros, (1,26 á 1,54 pies esp.), lo que les deja una solidez suficiente, nunca sería necesario darles mas de un metro de ancho, y por consiguiente no escederán á las dimensiones de las que comunmente se emplean en las construcciones, y nunca habrá necesidad de hacer maniobra alguna estraordinaria para trasportarlas y colocarlas. Pero los enrocamientos, que se ejecutan en el mar, estando espuestos por parte de las olas á una fuerza de impulsion mas considerable, deben hacerse con pedazos mucho mas gruesos: y entónces su carguío, trasporte y descargue, exijen precauciones particulares."

59 *Mr. Navier* pone al fin del espresado capítulo 3.º una nota, *sobre la velocidad ordinaria del agua para arrastrar diferentes materias*, que dice así:

Pág. 303 "*Mr. Dubuat* ha hecho, sobre el modo con que las aguas corrientes acarrean las materias, que se hallan en el fondo de los lechos, observaciones curiosas que se encuentran en sus *principios de Hidráulica* I.ª parte, seccion II, cap. III, y II.ª parte, seccion I, capítulo VII. Ha hecho algunos esperimentos sobre la velocidad de régimen que conviene á fondos de diferente naturaleza, cuyos resultados se hallan consignados en la tabla siguiente:

Velocidad del fondo de la corriente por segundo.	Arcilla oscura propia de alfarería.	Arena gorda amarilla.	GUIJO DEL SENA.			Guijarros de mar redondos, de 27 centímetros de diámetro á lo mas.	Piedras de fusil angulosas del tamaño de un huevo de gallina.
			Gordo como un grano de anís.	Gordo como un guisante á lo mas.	Gordo como un haba pequeña.		
Metros.	Arrastrada.	Arrastrada.	Arrastrado.	Arrastrado.	Arrastrado.	Arrastrados	Arrastradas
1,219	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.
0,975	id.	id.	id.	id.	id.	id.	Régimen
0,650	id.	id.	id.	id.	id.	Régimen	Estable
0,474	id.	id.	id.	id.	id.	Estable	id.
0,325	id.	id.	id.	id.	Régimen	id.	id.
0,217	id.	Régimen	id.	id.	Estable	id.	id.
0,189	id.	Estable	id.	Régimen	id.	id.	id.
0,162	Deposita arena fina	id.	id.	Estable	id.	id.	id.
0,108	id.	id.	Régimen	id.	id.	id.	id.
0,081	Régimen	id.	Estable	id.	id.	id.	id.
Peso específico de las materias.	2,64	2,36	2,545	2,545	2,545	2,614	2,25

en la cual, la palabra *régimen* significa, que, á la velocidad que le corresponde, las materias sometidas á la prueba ó ensayo tenían estabilidad; y que á un pequeño grado de velocidad mas, serían arrastradas por la corriente. Estaban colocadas en el fondo de un canal artificial, construido con tablones.

»Para comprobar este resultado con la teoría espuesta en el testo, continúa *Mr. Navier*, "supóngase en la ecuacion $c=\frac{H}{P-p}$, que $P-p=1,25$ y $H=0,0484$ de metro, la cual representa la altura debida á una velocidad de 0,975 de metro, se hallará $c=4$ centímetros, que es precisamente el grueso que debe suponerse á los cantos angulosos á que se refiere la última columna de la tabla anterior, segun la indicacion que de ella se ha dado.

"Referirémos aquí, añade *Mr. Navier*, algunas observaciones, que presentarán términos de comparacion, para formarse una idéa de la velocidad de los rios.

	Metros.	Pies esp.
Velocidad ordinaría por segundo de los pequeños rios de los contornos de París, cuya pendiente es 0,00018($\frac{1}{5555}$).	0,28	1
Velocidad del Sena entre el puente de las Tullerías y el puente Nuevo, observada por *Mariotte*. . .	0,47	1,7
Velocidad del Sena entre Surene y Neuilly, observada por *Chezy*, siendo la pendiente 0,000125($\frac{1}{8000}$).	0,78	2,8
Máxima velocidad del Támesis en Londres durante el flujo.	0,90	3,2
Id. durante el reflujo.	0,76	2,7
Velocidad del Tíber en Roma durante las bajas aguas.	1,00	3,6
Velocidad del Danubio en Ebersdoff en las aguas bajas.	1,05	3,8
En las grandes aguas esta velocidad varía de 2,21 á 3,79 metros.		
Velocidad del Loire, siendo la pendiente de 0,000382,($\frac{1}{2618}$).	1,30	4,7
Velocidad del Ródano en Arlés en las bajas aguas.	1,46	5,2
Velocidad del Ródano en Beaucaire en la misma época. . . . . . . , ...	2,60	9,3
Velocidad ordinaria del Durance desde Sisteron hasta su embocadura.	2,60	9,3
Velocidad del Marañon, en el estrecho de Pougo, observada por *Mr. de la Condamine*.	3,90	13,9
Velocidad de un torrente originado por la fusion de la nieve causada por la erupcion de un volcan observada en América por *Bouguer*.	7,80	27,9

60 Desearíamos poder insertar la velocidad de los rios de España; pero hasta el presente no tenemos otros datos, que los que yo he publicado en el tercer libro respecto del Jarama y Guadalix: y siendo esto de mas importancia de lo que se cree, ruego á cuantos se hallen en el caso de poder hacer observaciones, que por ningun acontecimiento las omitan, y que procuren darles publicidad.

61 El tercer tomo de las obras de *Mr. Gauthey* principia por una escelente Memoria sobre los canales de comunicacion necesarios al comercio, y que nosotros tenemos ya traducida para insertarla como una especie de introduccion á la obra en que publicarémos *nuestra nueva construccion de caminos de fierro*.

62 La segunda memoria es sobre las esclusas, acerca de lo cual solo dirémos aquello que en particular conduce para nuestro objeto; pues lo que sobre esta materia dice *don Benito Bails* está bastante arreglado, y en la mayor parte vienen á coincidir, y acaso con las mismas palabras *Bails* y *Gauthey*: lo cual puede provenir de que habiendo compuesto *Gauthey* esta memoria en 1780 y publicado *Bails* su Arquitectura Hidráulica en 1790, pudo *Bails* tener á la vista el trabajo de *Gauthey*: en términos que toda la parte relativa á las esclusas, y la demas doctrina que contiene el tomo 3.º de *Gauthey* se halla en *don Benito Bails*, casi del mismo modo, escepto aquello que depende de las localidades. Omite *don Benito Bails*, lo relativo á las *dimensiones de los largueros de las puertas de las esclusas*, que pone *Gauthey*; y acaso habrá sido porque Taramas trae en el primer tomo de su obra la parte correspondiente á las maderas. Tambien omite *Bails* lo relativo á las esclusas, cuando el declive es escesivo; y como esto es del mayor interes para nuestra Península, en que se presenta esta circunstancia en todas las localidades, insertarémos aquí lo que dice *Mr. Gauthey* pág. 89 del espresado tercer tomo relativo á las *esclusas para las pendientes considerables.*

"Cuando la inclinacion de un canal es muy grande, la ventaja que de él se puede sacar entónces es bien corta y aun algunas veces absolutamente nula.

»Acontece tambien, que esta inclinacion es tal, que no se puede hacer mas de una legua por dia; en cuyo caso habrá ciertamente ventaja en hacer un trasporte mas bien que una navegacion de esta especie *; pero cuando se encuentra roca sólida, lo que sucede bastante ordinariamente en estas circunstancias, se pueden hacer cámaras ó cuencos en forma de pozos abiertos en la roca de 30 á 50 metros (107 á 179 pies esp.) de altura; estas cámaras se comunican de este modo con partes de canales subterráneos, que se cerrarán á la salida de la cámara por medio de una compuerta capaz de una gran resistencia por fuertes arbotantes que se apoyen en la roca.

»Para llenar estas especies de cámaras, se formará en un lado un pozo que se comunicará por el fondo, como un sifon inverso; y el agua saldrá de él saltando en cavidades, á manera de bóvedas, construidas al lado de las cámaras ó cuencos.

»Como estas cámaras gastarían mucha agua, con el fin de economizarla, se construyen, á diferentes alturas, depósitos que se lle-

* Esto no es tan exacto como parece al Autor.

nan sucesivamente como en la cámara de Bouringues, para vaciar la cámara, y reservar el agua; y se harían tambien vaciar sucesivamente estos depósitos en la cámara, para llenarla. Se ve que estas cámaras, estando abiertas en la roca, el empuge del agua que sería enorme, no podría hacer ningun efecto contra los espolones de la esclusa."

63 Tambien me parece oportuno añadir lo que dice *Mr. Gauthey* en la pág. 53 del mismo tomo 3.º con la nota correspondiente de *Mr. Navier*.

"Se da (dice *Gauthey*) ordinariamente al espesor de los muros rectos y á plomo, que sostienen las tierras, el tercio de su altura; miéntras que los que resisten al empuge del agua deben tener la mitad de dicha altura" (porque aunque el agua tiene ménos peso específico que la tierra, su empuge es sin embargo mucho mas fuerte, en razon de que obra en todos sentidos y que no hay ninguna parte de ella sostenida sobre un plano inclinado, como sucede á las tierras).

La nota que pone *Mr. Navier* en la misma pág., dice así:

"Para encontrar el espesor que se debe dar al muro de un estanque ó depósito de agua, que debe contener este líquido hasta toda su altura, como son los cuencos de las esclusas, se debe recordar que el empuge del agua contra las superficies verticales es igual al producto de estas superficies por la mitad de la altura del agua.

» Llamando h la altura del muro, x su espesor, y suponiendo que su longitud sea de un metro, la potencia que obra será $1000.\frac{1}{2}h^2$; puesto que el metro cúbico de agua pesa mil quilógramas. Se sabe tambien que el centro de impresion de este empuge se halla al tercio de la altura del muro; así, el brazo de palanca de la potencia que obra será $=\frac{1}{3}h$.

» La potencia resistente será el muro mismo $=hx.2000$, en atencion á que el metro cúbico de albañilería pesa ordinariamente 2000 quilógramas. Su brazo de palanca será la mitad del espesor del muro $=\frac{1}{2}x$. Por consiguiente, el momento de la potencia, que obra será $=1000\times\frac{1}{2}h^2\times\frac{1}{3}h$, y el de la potencia resistente será $2000.\frac{1}{2}hx^2$; y como en el estado de equilibrio estas dos potencias deben ser iguales, se tendrá $167.h^3=1000hx^2$; de donde resulta $x=\sqrt{0,167h^2}=$ $=0,41.h$. Pero como se debe tomar algo mas, que el caso de equilibrio, añadiendo $\frac{1}{5}$, se tendrá $x=\frac{1}{2}h$ aproximadamente. Donde se ve que el espesor de un muro, que ha de resistir la presion del agua, debe ser igual á la mitad de altura de dicho líquido que está delante de este muro."

64 No será inoportuno el que insertémos aquí el artículo *esclusas*, que se halla en la pág. 444 del tomo VII del *Diccionario tecnológico*, pues contiene las noticias mas recientes sobre este particular; y dice así:

Esclusas. "Se da este nombre á todas las obras de albañilería, carpintería ó de tierra, que tienen por objeto sostener el nivel de las aguas á ciertas alturas, determinadas por las necesidades ó naturaleza de los terrenos, de modo que puedan pasar, segun se quiera, por medio de puertas construidas al efecto, ya para hacer girar ruedas en establecimientos industriales, ya para regar ó inundar un pais, ya para el servicio de las *esclusas* de rios ó de canales de navegacion. Hablarémos particularmente de las últimas, en el presente artículo; y de las segundas, pondrémos con brevedad los principios que deben seguirse en su construccion.

»La invencion de las esclusas de dobles puertas para la navegacion de los rios ó de los canales, segun el *P. Frisi*, Autor Italiano, se verificó en 1481. La primera vez se establecieron sobre el Brenta, cerca de Padua, por dos Ingenieros de Viterbo. Poco tiempo despues, Leonardo de *Vinci* hizo una aplicacion feliz de este hermoso y útil descubrimiento, que sirvió luego de modelo á todas las operaciones de la misma clase. Estableció la comunicacion de los dos canales de Milan por seis esclusas sucesivas, salvando una diferencia de nivel de 16 á 18 metros (57 á 64 pies esp.).

»Las primeras esclusas, construidas en Francia, fueron las de los canales de *Briare* y de *Orleans*, que unen el Loira con el Sena. El primero contiene cuarenta y dos, y el segundo veinte. Pero uno de los mas bellos y atrevidos sistemas de esclusas que existen, es el que hay en el canal de Languedoc, que reune el Mediterráneo con el Océano; los barcos cargados pueden pasar de un mar al otro en once dias, atravesando montañas que tienen 200 metros (717 pies esp.) de altura sobre el nivel de los dos mares.

»En Holanda es donde se ha perfeccionado particularmente el sistema de las esclusas. Los pueblos que habitan este pais, sin cesar amenazado de ser invadido por las aguas que le rodéan y dominan, han debido buscar y han encontrado con efecto en la Arquitectura Hidráulica todos los medios de precaverse de las inundaciones, suspendiendo y dirigiendo convenientemente el curso de las aguas. Pero en estos últimos tiempos, es principalmente cuando la práctica, guiada por la teoría, ha hecho grandes progresos en el arte de ejecutar todas estas obras públicas. Los inmensos adelantamientos de la Mecá-

nica usual, les ha dado un carácter de magnificencia y estabilidad desconocido hasta nuestros dias. *Mr. Carlos Dupin*, en uno de sus viages á Inglaterra, refiere que ha visto en el canal *Caledonio*, que permite á los buques de 500 á 600 toneladas y á las fragatas, pasar del Océano Atlántico al Océano Germánico, sin hacer el rodéo peligroso del Norte de Escocia y de las Islas Orcadas, esclusas cuyas puertas son de fierro colado, y que no pesan ménos de 26 toneladas, es decir 26 mil quilógramas (565 quintales esp.), que dos hombres con el auxilio de un mecanismo sumamente ingenioso manejan con la mayor facilidad.

»Iguales construcciones no admiran en las Islas Británicas, principalmente en Escocia, donde la madera escaséa y el fierro es comun; ellas no convendrían entre nosotros * donde sucede lo contrario.

»Antes de hablar de la construccion de las esclusas, vamos á dar una idéa general de las diferentes partes que las componen, y de las varias operaciones que hay que hacer para efectuar por su medio el paso de los barcos en uno y otro sentido.

»En una esclusa, se notan cuatro partes principales:

1.ª El fundamento ó formacion de los cimientos, que exigen una ejecucion esmerada y de las mas sólidas.

2.ª »Los muros laterales y paralelos, á que se da el nombre de *espolones*.

3.ª »El *piso* ó el *suelo* de la esclusa.

4.ª »Las dos *puertas picudas* y sus accesorias. Se llama *cabeza de la esclusa*, la puerta de arriba; y puerta *mojada*, ó de *abajo*, á la inferior.

»La diferencia de nivel forma la *caida de la esclusa*.

»Se sabe que una de las primeras condiciones que se ha de verificar en el establecimiento de un canal de navegacion es que el agua permanezca en él, por decirló así, durmiente ó quieta, para que el tránsito de los barcos sea tan fácil en una direccion como en otra. Sería pues necesario para que esta condicion quedase satisfecha, que los dos puntos de partida y de llegada, así como todo el pais que un canal atraviesa, estuviesen á nivel; lo que solo se verifica en muy cortas travesías y en paises llanos; es pués bastante raro que no se

---

* Esto es, en Francia; pero en España, donde hay montes de fierro, y grandes depósitos de carbon de piedra para elaborarle, podemos emprender obras aun mas atrevidas, y con mayor economía, si se pone en ejecucion cuanto esponemos en esta obra, y darémos á conocer en las de la *Riqueza mineral de España*, y *nueva construccion de caminos de fierro*, que estamos preparando.

tenga mas ó ménos inclinacion ó declive que salvar. Cuando es solo de algunos pies, se sostienen las aguas con una *ataguía móvil*, que se separa ó retira en el momento de pasar los barcos; pero si se trata de salvar montañas, valles, &c., entónces hay precision de establecer esclusas; lo que no puede sin embargo verificarse, sinó en el caso en que se pueda disponer de una cantidad de agua suficiente en el punto culminante de partida ó de reparto para alimentarlas.

»A este efecto, cuando se da conocida la diferencia de nivel de un punto á otro, se divide el canal, en el sentido de su longitud, en muchas partes que se designan por el nombre genérico de *trámites* ó *trozos*. Se hace de modo que la caida de una esclusa se halle en los límites de dos á tres metros (de unos 7 á 11 pies esp.) y sea igual para todas.

»Los trámites están unidos entre sí por *depósitos*, cuencos ó cámaras, que se llaman en general *Neptuno*. Por medio de estos depósitos pasa un barco sucesivamente de un trámite al otro, sea para subir, sea para bajar. Muchas esclusas establecidas contiguas las unas á las otras, pueden compararse con los escalones ó gradas, á que se ha dado el nombre poético de *Escalera de Neptuno*. Para descender una grada de esta escalera líquida, es decir, para pasar del trámite ó trozo superior al inmediatamente inferior, se llena de agua la esclusa intermedia, hasta el nivel del trámite superior; entónces no se halla dificultad para introducir el barco en esta esclusa. Cerrando la puerta superior, que se tenía en un principio abierta, y bajando despues el agua, que se acaba de introducir en ella, hasta el nivel del trámite inferior, abriendo el postigo de la puerta baja, el barco desciende en ella al mismo tiempo.

»La operacion inversa sirve para elevar el barco del trámite inferior al superior, es decir, que es necesario entónces que el agua contenida en la esclusa baje al nivel del trámite inferior. El barco se introduce en la cámara ó cuenco, se cierra la puerta inferior, y abriendo el postigo de la superior, el agua le llena, y eleva el barco al nivel del trámite superior, á donde para fácilmente.

»Se ve que sucederá lo mismo para un número cualquiera de esclusas colocadas en seguida las unas de las otras, y que la operacion para pasar de la una á la otra, se hará del mismo modo.

»Sobre este punto, notarémos que cuando las desigualdades del terreno se prestan á ello, hay una gran ventaja en poner el mayor número de esclusas las unas á continuacion de las otras. Porque, como es necesario que cada una tenga dos puertas, se economiza necesaria-

mente una, cuando las esclusas forman un sistema contiguo, en atencion á que cada puerta intermedia es á un mismo tiempo puerta superior é inferior.

»A esta ventaja se añaden otras, como la de que el servicio de las esclusas así agrupadas, se hace por una sola persona, mientras que serían necesarias muchas si las esclusas fuesen aisladas.

»Sin embargo, no por esto se deja de necesitar para cada barco que pasa, un volúmen de agua igual á la capacidad de la cámara de la esclusa, cuya cantidad de agua se encuentra perdida para la navegacion de la parte superior del canal, donde es preciso absolutamente reemplazarla por la que debe suministrar un rio ó depósito alimentado por fuentes ó aguas pluviales, que se recojan en el punto de reparto del canal.

»En el modo de hallar estas aguas, y en las obras que se deben hacer para conducirlas y reunirlas, es donde se encuentran frecuentemente las mayores dificultades para la construccion de los canales.

»Si se considera un barco atravesando los trámites sucesivos de un canal, como un cuerpo pesado que se eleva ó se baja á cada encuentro con una esclusa, se ve que, haciendo abstraccion de la pérdida de fuerza necesaria para poner en accion un mecanismo cualquiera, este barco debería por su descenso de una cierta altura, elevar á esta misma altura un peso igual al suyo; y recíprocamente, que la elevacion del barco de un trámite al inmediato superior, solo debería ocasionar el descenso de un peso de agua igual al del barco, del primer trámite al segundo; pero las cosas se verifican de otra manera bien diferente. La elevacion y descenso de las masas de agua, cuyo peso sea el mismo que el del barco, se efectúan allí, á la verdad, por la simple accion del desalojamiento del fluido, pero resulta de la necesidad de llenar las cámaras, y del modo con que se efectúa, que los barcos descendentes gastan la misma cantidad de agua que los ascendentes; y como el esceso del peso del agua de las esclusas sobre el de los barcos es enorme, el beneficio de agua debido al descenso dá una compensecion muy débil.

»Muchos Ingenieros de un gran mérito, tales como *Betancourt**, *Solage*, *Bossu* en Francia, y *Donkin* en Inglaterra han procurado reducir la subida y bajada de un barco en una esclusa á esta equiponderancia pura y simple de las masas qne da el *mínimo* de gasto de fluido, sin recurrir, por decirlo así, á las aguas de los trámites supe-

* Don Agustin de Betancourt, era español, natural de Canarias.

riores. Se ha dado á este sistema, ingenioso sin duda, pero impracticable en grande, el nombre de *cámara móvil.*

»He aquí en que consiste.

»Al lado de la esclusa, detras de uno de los espolones, se hace un pozo prismático que comunique con la esclusa. Contiene, juntamente con la esclusa, un volúmen de agua que se trata de hacer levantar y bajar, de modo que se encuentre sucesivamente al nivel del trámite superior é inferior.

»Esta condicion en el proyecto de *Betancourt*, está satisfecha por la inmersion de un cuerpo que sube y baja en el pozo prismático; pero el empléo de este cuerpo que se sumerge, para ser practicable, exigía una combinacion de medios sacados de las leyes de la Hidrostática y de la Mecánica, que forman todo el mérito de esta invencion. En el caso particular de que se trata, la curva descrita por el centro de gravedad del contrapeso es un círculo (véase el tomo VII del Boletin de la Sociedad de Fomento, ó la Enciclopedia del Ingeniero, por *Delaistre*, donde se ha insertado el informe de *Mr. Prony* sobre este particular).

»En cuanto al medio de *Solage* y *Bossu* para producir el mismo efecto, la esplicacion es demasiado larga para insertarla aquí. Se puede ver su descripcion, así como el medio propuesto por *Fulton*, en el VII volúmen del Boletin de la Sociedad de Fomento pág. 163. Una esclusa de este género se construyó por ensayo en Creusot. Existe un modelo de ella bastante en grande en el Conservatorio (de París) para hacer comprender su modo de obrar *.

»Despues de esta digresion, volvamos á ocuparnos de las esclusas de cámaras ordinarias. Hemos dicho que se componen de cuatro partes principales, á saber: las fundaciones ó cimientos; los espolones; el suelo ó piso; y las puertas picudas.

»Determinado el sitio en que se ha de colocar la esclusa, así como su caida, su longitud y su ancho, los fundamentos ó cimientos, ya sobre terreno sólido, ya sobre estacas ó pilotage, se elevan al nivel del piso, donde estando bien enrasados, se trazan los espolones, cuidando de darles un espesor proporcionado á la altura del agua cuyo empuge deben sostener, y fortificarlos aun con contrafuertes.

»Se practica algunas veces, en el espesor de los espolones, un pequeño acueducto, que los Franceses llaman *pertuis*, y á que cor-

* En nuestra Escuela de Caminos y Canales existía un modelo de la Esclusa de *Betancourt*; y es lástima, que en la actualidad el público no pueda examinarlo cuando lo necesite.

responde en Castellano *boquete* ó *canalizo*, teniendo una compuerta de corredera ó de muesca en el medio, para hacer pasar el agua de un lado al otro de la esclusa sin que haya necesidad de abrir las puertas.

»Al trazar las caras interiores de los espolones, es necesario hacer muescas, para recibir todo el grueso de las puertas cuando estén abiertas, á fin de que no embaracen el tránsito de los barcos. Se hacen tambien en las mismas caras, por la parte esterior de las puertas, dos muescas ó correderas verticales de 7 á 8 pulgadas cuadradas, distante la una de la otra 3 á 4 pies, con el objeto de recibir los estremos de un cierto número de viguetas puestas las unas sobre las otras para formar un cajon que se llena de tierra arcillosa, á fin de tener una ataguía que permita poner en seco toda la esclusa, cuando se necesite hacer alguna reparacion. Para facilitar la entrada del agua en la esclusa, los espolones del lado de arriba toman una direccion oblicua que forma contraccion ó embudamiento. Esto impide al mismo tiempo al agua pasar detras, lo que causaría bien pronto la ruina de toda la obra, Por esta causa se une la prolongacion de los espolones con los muros del malecon á las caras laterales del canal. Toda esta albañilería se hace con mezcla de cal hidráulica.

»El piso ó suelo de la esclusa debe contruirse con mucho cuidado, así como el batiente contra que se aplican las puertas: este se hace de piedra de sillería ó de dos viguetas que sobresalen 6 á 8 pulgadas sobre el piso. Este es enlosado ó de madera, cuyos espacios huecos se llenan de cantos ó guijarros. Se le llama *contra-piso* y sirve para resguardar el piso de albañilería sobre que reposa.

»Las esclusas se cierran, como ya hemos dicho, con puertas planas ó combadas, que se apuntalan ó sostienen recíprocamente bajo un ángulo de cerca de 135 grados, y que se apoyan al mismo tiempo sobre el batiente. Ellas forman de este modo una salida, á manera de nariz ó pico, que les ha hecho recibir el nombre de *puertas picudas*, cuyo cerramiento es tanto mas exacto cuanta mas agua tienen delante. Ellas forman, juntamente con los espolones, una figura exagonal que se llama *cámara* ó *cuenco* de la esclusa. La construccion de estas puertas exije el mayor cuidado. Hemos visto que los Ingleses, teniendo muy barata la fundicion del fierro, y el fierro, las han hecho de esta materia; imitarlos en Francia, sería conducirla á gastos muy considerables. Nosotros hacemos las hojas de madera, que vuelven á cubrirse con otros maderos muy fuertes. Los largueros ó pies derechos que sirven de eje, tienen su estrados re-

dondeado, á fin de reunirse exactamente en la ranura de las muescas, en todas las posiciones, principalmente cuando están cerradas. Los largueros que han de formar el ángulo de las hojas de la puerta se labran con el mismo ángulo, y no deben dejar ninguna luz entre sí de alto á bajo.

»De este modo una vez puestas las puertas, no deben sufrir ninguna variacion en su forma.

»La abertura de las puertas, aunque se verifica cuando el fluido está en equilibrio, se hace con el auxilio de un cuadrante de círculo dentado, por medio de una cigüeña ó palanca, proporcionándolo todo á la resistencia, para que un hombre solo pueda hacer este trabajo, ya para cerrar, ya para abrir.

»Cuando no se hace canalizo en los espolones de una esclusa, se deja en la parte inferior un postigo para que pase de un lado á otro la cantidad necesaria de agua para llenar ó vaciar la esclusa *. Estos postigos se cierran con pequeñas compuertas que se levantan ó bajan por medio de *crics* **, con barras dentadas, sujetas á los cabeceros de las puertas. Esta última construccion, que parece en efecto la mas simple, es la que en el dia es preferida.

»Se han ideado, para producir el mismo efecto, otros muchos medios ***......

»Para facilitar la travesía de un lado á otro de la esclusa, se hace un puente que gira; el cual replegándose, deja libre paso á los barcos. Este puente, cuando la esclusa es ancha, se compone de dos partes que reposan y giran sobre el vértice de cada espolon.

»Ademas, se hace otro pequeño puente encima de cada puerta para el uso del esclusero; se forma dando á los travesaños superiores de las puertas algunas pulgadas mas de ancho, para que un hombre pueda pasar por ellos sosteniéndose al pretil fijo en los vértices

* El mejor modo para sacar la máxima utilidad, sería el hacer que el agua sobrante, cuando no se necesita para el canal, sirva de motor para algun establecimiento industrial, colocado en las inmediaciones de la esclusa, como es batan, molino, fábrica de papel, ferrería, &c., &c.

** En el § 145 de mi Mecánica práctica, y en el 255 del tomo 3.°, parte 1.ª T.E. se pone la descripcion de esta máquina y su modo de obrar.

*** No los espresamos, porque solo pueden tener aplicaciones en casos particulares; y así como dichos medios se han ideado para localidades especiales, del mismo modo el Ingeniero que poséa bien los principios generales, al tratar de un proyecto particular, tomará en consideracion todas las circunstancias locales; y no perderá de vista que con la palabra *Ingeniero* se quiere espresar, que al proyectar toda obra, se debe recurrir á la facultad mental del *Ingenio*, para escogitar el medio que mas concilie todas las circunstancias, procurando sacar de ellas el mejor partido posible.

de los largueros de las puertas, que á este efecto sobrepujan á las argollas unos 4 pies.

»Para decidirse sobre el espesor que se debe dar á la fábrica de los espolones, es necesario no solo tener en consideracion el empuge del agua, sinó aun la calidad de los materiales que se emplean. *Belidor* dice que se debe dar á los espolones un espesor igual á la altura de las mayores aguas que debe sostener el piso; da igualmente reglas para el intermedio y la fuerza de los contrafuertes; pero son susceptibles de variar, segun las localidades y los cálculos del Ingeniero. Se sabe que una de las propiedades de los cuerpos fluidos, es de empujar en todos sentidos las paredes verticales ó inclinadas de los vasos que los contienen; y que este empuge en cada punto de dichas paredes puede siempre espresarse por la vertical que mide la distancia de este punto debajo del nivel del líquido, sin tener que considerar la estension de su base, porque su volúmen ó dimension horizontal no influye en nada sobre este empuge.

»Así, poco importa que la esclusa sea mas ó ménos ancha, que los espolones estén mas ó ménos aproximados; el empuge del agua contra ellos no mudará, dependiendo únicamente de la altura del agua. Y como esta altura del agua varía, se sigue que un muro destinado á resistir á su empuge, debe adelgazarse á medida que se eleva, pero no en una razon exacta, porque entónces no habría ningun espesor; y acabaría por consiguiente en la línea de nivel.

»La cara interior de los espolones, siendo y debiendo ser vertical, el escarpado se hace en la parte esterior ó trasdos de la pared ó paramento esterior *. No se tiene en consideracion el empuge de las tierras que obran en un sentido opuesto al del agua; porque el menor filete de este líquido, que se insinúe entre la tierra y el muro puede bastar para separarlos de todo punto, á pesar de los batidos de arcilla que allí se deben poner.

»Se economiza el gasto de agua calibrando la cámara de una esclusa con la dimension de los barcos. Algunas veces se hacen esclusas dobles que reciben dos barcos á un tiempo.

»La construccion de las esclusas de navegacion es una cosa tan importante, que no es posible en una obra de la naturaleza de esta entrar en todas las consideraciones que exige. Nos hemos limitado á

* Cuando la tierra sea floja, ó lo que se llama *terreno débil*, puede convenir hacerlo al reves.

indicar los principios generales que sirven de guia á los Ingenieros. Las personas que quieran estudiar á fondo esta materia, deben consultar las obras de *MMrs. Gauthey*, de *Prony*, de *Girard*, &c. &c."

CAPITULO II.

Sucinta enumeracion de los inconvenientes que presenta la construccion actual de las obras en el agua; noticia de las cales hidráulicas de Francia, Inglaterra y Rusia, y de las que yo tengo reconocidas en España, con las que se pueden minorar, pero no evitar de todo punto, dichos inconvenientes.

65 El objeto de este capítulo es reunir bajo un solo punto de vista los inconvenientes que presenta la construccion actual de las obras hidraúlicas; examinar su orígen ó procedencia; dar á conocer el modo de remediarlos, por los métodos que están en uso, é indicar la insuficiencia de estos, con el fin de que el lector se prepare al exámen de nuestro nuevo método para estas construcciones, que espondrémos en el capítulo siguiente.

66 Ante todas cosas observarémos que *Belidor* en la pág. 5 del prefacio de su *Arquitectura Hidraúlica*, dice: "Las dificultades que comnumente se esperimentan, cuando se quiere edificar en el agua, proceden casi siempre de la mala calidad en el fondo, que las mas veces hay que dejar en seco."

67 *Don Benito Bails*, al manifestar pág. 27 de su obra sobre el mismo asunto, *como se fundan las obras hidráulicas*, dice: "El modo de fundar en el agua un edificio suele variar con la especie de la fábrica, y las circunstancias locales: por cuyo motivo hablarémos aquí solo en general de esta maniobra, ciñéndonos á declarar las tres operaciones que requiere: 1.ª apartar ó atajar el agua; 2.ª agotarla; 3.ª macizar el suelo, á fin de que siente sobre cimientos sólidos la obra.

» Para conseguir estos tres fines, han apelado los hombres á varios ingenios y recursos, que vamos á especificar, empezando por el artificio con que se ataja el agua; seguirán despues las máquinas que sirven para agotarlas, y concluirémos manifestando los medios con que se logra dar al terreno la competente consistencia, cuando de suyo no la tiene."

68 El mismo don Benito Bails dice, al hablar de las obras

dráulicas en los rios, pág. 70 "Al tiempo de especificar las obras hidráulicas, cuando propusimos el plan de este tratado, hemos ponderado la importancia de todas, y la dificultad de las mas, pero ninguna hemos graduado de temeraria. Si las hay que merecen esta calificacion, son sin duda alguna las que se hacen en los rios."

69 *Mr. Gauthey* en el capítulo 1.º seccion 1.ª del lib. 2.º página 179 del tomo 1.º de sus obras, dice así: "Siendo la roca el mejor de todos los fondos.............."

70 El mismo *Mr. Gauthey* dice pág. 196 del primer tomo de sus obras. "Se ve, por lo demas, que los puentes nunca perecen sinó por defecto en la salida; y que en última análisis el disminuir demasiado la seccion es siempre la causa de su ruina."

71 *Mr. Gauthey* en la pág. 68 del tercer tomo de sus obras, y *Bails* en la 253 de su *Arquitectura Hidráulica*, dicen: "La construccion del piso (de las esclusas), es de todos los puntos el que pide mas cuidado, por ser esta la parte de la inclusa * mas dificultosa de conservar y mas necesitada de reparo. Antiguamente los mas de los pisos se hacían de madera; pero deben escusarse todo lo posible, porque la madera nunca enlaza bien con la fábrica: siendo casi imposible que deje de colarse por entre los maderos del zampeado y la mampostería, que se fabrica entre los pilotes, una lengua de agua, que hace mucho empuge, por causa de la mucha que sobre ella carga, y suele estorbar el manejo de las puertas.

72 Los mismos Autores, á saber *Gauthey* en la pág. 85 del tomo 3.º de sus obras, y *Bails* en la 262 de su *Arquitectura Hidráulica*, dicen: "El mayor contrario de las inclusas y la causa de casi todos los socavamientos que padecen, es la rapidez con que pasa el agua desde el trámite superior al cuenco, ó desde este al trámite inferior."

73 Desde la mas remota antigüedad se ha reconocido la puzolana como sumamente adecuada para las mezclas **, que se empléan

---

* Aunque *don Benito Bails* se debe tomar por modelo en punto á lenguage, sin embargo, yo juzgo preferible el nombre de *esclusa*, que estaba ya adoptado por Taramas, á causa de que la palabra *inclusa* tiene entre nosotros la acepcion de un establecimiento de beneficencia donde se crian los niños espósitos ó de padres desconocidos.

** En Cadiz suelen designar bajo el nombre de *zulaque* al mortero, argamasa ó mezcla que se empléa en las obras Hidráulicas; pero el zulaque es propiamente el betun de fontaneros ó betun de agua. Se compone de cal casi viva ó apagada con poquísima agua, de estopa cortada y de aceite. La estopa viene á ser un dozavo en peso de la cal; y el aceite es el que baste para darle consistencia.

en las obras acuáticas. Vitruvio, Escamozzi, casi todos los Arquitectos é Ingenieros han tratado de ella. *Taramas* en la pág. 174 del primer tomo de su obra, y *Bails* en el § 393 de su *Arquitectura civil*, se ocupan de esta materia; por lo que nosotros nada dirémos relativamente á este punto, á causa de que las investigaciones modernas mas bien se reducen á indagar los medios de obtener los mismos resultados con materiales que cada uno se pueda proporcionar en su pais. Así es, que en Inglaterra, en Francia, en Rusia &c. se han ocupado mucho, no solo en buscar la puzolana, sinó en los medios de reemplazar su uso por otras cales que han designado con el nombre de *hidráulicas*. Y de todas las análisis, y observaciones hechas por diversos Ingenieros, y por esperimentos sintéticos que se han ejecutado, resulta: 1.° que *las cales son tanto mas á propósito para las construcciones hidráulicas, cuanta mayor es la cantidad de arcilla que contienen*: entendiendo por la palabra *arcilla* la reunion de la sílice muy fina, que se halla diseminada en la masa, mezclada con la alúmina, y algunos otros óxidos que puede contener, como son los de fierro, de manganeso y de magnesia; 2.° que *la piedra caliza, de que se ha de estraer la cal, es tanto mejor, cuanto mayor es su peso específico*; 3.° que *la sílice sola puede formar con la cal una combinacion eminentemente hidráulica*, que es lo que sucede en la piedra caliza de Senonchez; 4.° que *la magnesia sola ó mezclada con los óxidos de fierro y de mangeneso*, como sucede en la piedra caliza de Villefranche, *da la cal débil ó floja, sin comunicarle la propiedad de solidificarse debajo del agua*; 5.° que *la alúmina sola no tiene mas eficacia que la magnesia para hacer hidráulicas las cales*; 6.° que *la sílice es un principio esencial á estas especies de cales*; 7.° que *los óxidos de fierro, y de manganeso, á que muchas personas han atribuido un papel importante, son por lo general inertes en estas mezclas; y si abundan mucho, podrá suceder que vengan á perjudicar, aunque solo sea como cuerpos interpuestos*; 8.° que en fin, *el medio de reconocer una piedra de cal hidráulica, consiste en asegurarse de que es compacta, de una densidad bastante grande, y que su composicion admite de 25 á 30 por 100 de arcilla, haciendo efervescencia con los ácidos, como el nítrico, sulfúrico, hidroclórico*, &c.

74 Los Ingleses, ya sea por la necesidad que produce su situacion geográfica de construir muchas obras en el agua, ya porque en estos últimos cincuenta años han hecho unos progresos sumamente

rápidos en todas las ciencias y con especialidad en las de aplicacion, son los que se han anticipado, y los que todavía dan la ley sobre este particular.

Llaman *Roman-cement ó argamasa-romana ó cimento-romano*, á una mezcla, que resulta de la calcinacion moderada de una piedra calcárea, que contiene por lo regular 31 por 100 de arcilla; la cual se pulveriza, y se amasa como el yeso. Se hace de esta sustancia un gran consumo en Lóndres, en las fundaciones, en los revestimientos de los muros y de columnas hechas con ladrillos, en las cuevas ó sótanos, en las cisternas, en los acueductos, en la revocacion de las casas, y ha servido en esta época para toda la albañilería de la comunicacion que se construye debajo del Támesis, á que llaman *Tunel*.

75 Para cocer la piedra que en Inglaterra da el *cimento-romano*, han ideado los hornos cónicos, que llaman de *fundir* ó de *fuego contínuo*, en los cuales el combustible se introduce mezclado con la piedra de cal. Usan para esto del carbon de piedra ú hornaguera; pero si hay depósitos de toba en las inmediaciones, usan de este combustible, como se hace en *Radersdorf* en Prusia.

En 1796 *MMrs. Parker y Wgatts* obtuvieron una patente Real para la fabricacion del *cimento-romano*. Despues se han establecido muchas fábricas del mismo género, y todas prosperan; pues, ademas del gran consumo que hay en Inglaterra, esportan mucho para el estrangero: de lo cual reportan inmensas ventajas, á causa de que venden el metro cúbico á cien francos, lo que equivale á lo mismo que vender el pie cúbico español á ocho reales y medio.

76 *El cimento-romano* que hacen los Ingleses, tiene la propiedad de solidificarse casi instantáneamente, como el yeso, sea en contacto con el aire, sea en medio del agua, cuando se amasa en pasta un poco consistente, y sin que sea necesario mezclarle con ninguna otra sustancia; él adquiere una solidez mayor cuando está empleado en el agua ó espuesto á una humedad constante, que cuando queda al aire seco; en fin su dureza, que se aumenta con el tiempo, viene á ser pronto igual á la de las piedras calcáreas: calidades que hacen esta materia estremamente preciosa para todas las construcciones hidráulicas, y sobre todo cuando los agotamientos ó desagües no son fácilmente practicables. Pero es necesario mucha precaucion y destreza tanto para su coccion, como para su empléo; pues de lo contrario, no sirve para nada, perdiendo todas sus buenas cualidades.

La piedra calcárea, de que lo sacan, es muy arcillosa, compacta,

dura y tenaz, de grano muy fino, y susceptible de pulimento.

77 *Mr. Lessage*, Ingeniero militar frances, publicó, hace ya mucho tiempo, una Memoria muy detallada sobre la composicion de una piedra caliza, y las propiedades de la cal, que producía, en Boulogne sobre el mar. La composicion de esta piedra es aproximadamente la misma que la de la piedra inglesa; pero en Francia se ha dejado de beneficiar dicha piedra, porque no encontrándose sinó en cantos rodados sobre la orilla del mar, ha venido á ser muy rara, y el *yeso-cimento*, que proporcionaba, ha sido tan completamente olvidado, que se ha recibido con admiracion, y como una materia enteramente nueva, el *cimento-romano* que los Ingleses les principiaron á vender al hacerse la paz. Los Ingleses han establecido un depósito en Guernesey, de donde lo difunden por todas partes: las obras del puerto de Cherbourg consumen una gran cantidad de él. Pero como los Franceses tienen tanto interes en la prosperidad de su pais, han trabajado con mucho esmero para procurarse cales hidráulicas en su propio suelo. *MMrs. Saint-Leger* y *Giraud* han obtenido ya resultados felices, que han abierto el camino de esta útil fabricacion; se han hecho puzolanas artificiales, y se han ocupado mucho de las cales hidráulicas. En Meudon cerca de París, hay un establecimiento en que se hacen cales hidráulicas artificiales, de las que el metro cúbico se vende á 70 francos, lo que equivale á que el pie cúbico español cueste unos 6 rs. vn.

78 *Mr. Vicat*, despues de un estudio de cotorce años, ha clasificado todas las cales de Francia en cinco clases, á que él llama categorías: 1.ª *cales grasas*; 2.ª *cales flojas ó débiles*; 3.ª *cales medianamente hidráulicas*; 4.ª *cales hidráulicas*; 5.ª *cales eminentemente hidráulicas*.

79 Las cales *grasas* duplican de volúmen por lo ménos, apagándolas del modo ordinario; su consistencia no varía en el trascurso de muchos años de inmersion, y son aun disolubles hasta la última partícula, renovando el agua frecuentemente. La piedra caliza, de que resultan, se compone casi de cal pura, ó da lo mas de 1 á 6 por 100 de óxidos.

80 Las cales *flojas ó débiles*, como tambien las hidráulicas, aumentan poco ó nada de volúmen por el apagamiento; pero las primeras presentan en el agua los mismos efectos que las cales grasas, á ménos que no dejen en el lavado un residuo insoluble sin consistencia. La piedra caliza, de que resultan estas cales débiles, contiene de 15 á 30 por ciento de arenas.

81 Las cales *medianamente hidráulicas* se reunen en masa despues de 15 á 20 dias de inmersion en el agua; continuando endureciéndose, pero muy lentamente, sobre todo despues del sesto ú octavo mes. Al cabo de un año, su consistencia es comparable á la del jabon seco, y se disuelven en el agua con mucha dificultad. La piedra caliza, de que se estraen, contiene de 6 á 12 por 100 de arcilla, mezclada ó no con óxido de fierro, de manganeso y de magnesia.

82 Las cales *hidráulicas* toman consistencia á los seis ú ocho dias de inmersion, y continúan consolidándose hasta unos doce meses: al cabo de este tiempo, han adquirido una dureza semejante á la de la piedra blanda, y ya no las ataca el agua. La piedra caliza, de que resultan, contiene de 15 á 18 por 100 de arcilla, que puede estar mezclada con las mismas materias estrañas, pero en que la sílice tiene la preponderancia.

83 La *cal eminentemente hidráulica* se reune en masa, ó, como suele decirse, *fragua*, á los dos ó cuatro dias de inmersion; al cabo de un mes están muy duras y son completamente insolubles: á los seis meses, presentan resultados análogos á los de las piedras calcáreas absorventes, cuyo paramento puede cuartearse: los golpes hacen saltar pedazos en forma de astillas, que dejan quebraduras escamosas. La piedra caliza, de que resultan, contiene 20 á 25 por 100 de arcilla en que domina la sílice.

84 *Mr. Collet-Descotils*, en virtud de la análisis hecha de la marga compacta de *Senonches*, ha deducido que *la causa de su propiedad distintiva* dependía de la gran porcion de sílice muy fina que contenía diseminada en la masa, y que llegaba á ser una cuarta parte ó 25 por 100.

Los óxidos de fierro y de manganeso parecen no influir notablemente en la solidificacion de las cales, que, ya sean grasas, ya flojas, ó ya hidráulicas, pueden teñirse variablemente de color oscuro, gris, rogizo, blanco, &c. Por otra parte, resulta de las observaciones de *Mr. Minard*, que la propiedad de dar *cimento-romano* pertenece á todas las piedras calcáreas, aun á las que solo contienen un centésimo de arcilla. Basta para esto, que su coccion ó calcinacion sea lenta, y poco adelantada; de manera, que ciertas piedras de cal dan á voluntad *cimento-romano*, que se consolida en un cuarto de hora, cimento que no se consolida sinó en cuatro ó cinco dias, ó en fin, cal grasa. La piedra, para producir estas variedades de cal, debe perder respectivamente ocho, doce ó treinta centésimas partes de su peso al cocerse.

Muchos esperimentos que *Mr. Minard* ha comparado, le hacen presumir, que el *cimento-romano* tan útilmente empleado en Inglaterra, no debe sus importantes cualidades sinó al *subcarbonato de cal*, producido por una calcinacion apropiada sobre un carbonato natural.

La cal hidráulica, de cualquier modo que se coloque en el agua, se debe consolidar en poco tiempo y adquirir una dureza mas ó ménos considerable, en términos que, si es conforme corresponde, no se pueden separar sus pedazos sinó á fuerza de pico. La cal hidráulica, espuesta al aire, toma poca consistencia y no es susceptible de recibir pulimento.

Mr. Girard de Caudemberg, Ingeniero de Puentes y Calzadas de Francia, ha publicado en 1827 una noticia sobre nuevos morteros ó argamasas hidráulicas, que se obtienen con las arenas fósiles arcillosas; y en la pág. 61 deduce esta consecuencia. "Así, queda demostrado que la condicion necesaria para la existencia de una buena puzolana arcillosa, es *que la sílice se encuentre en ella aislada de los otros óxidos, y por lo mismo en un estado propio para formar combinaciones nuevas.*"

Y en la pág. 62, dice: "Las consideraciones, que preceden, me parecen por otra parte contener la *teoría racional* de las puzolanas arcillosas, que se puede enunciar muy generalmente como sigue: *la consolidacion de los morteros ó argamasas de puzolana sumergidos, proviene de la combinacion que se verifica entre la cal y la sílice por una parte, y entre la cal, la alúmina, y el óxido de fierro por otra.* Se sabe ademas, por esperimentos directos, que estas dos combinaciones gozan de la facultad de endurecerse muy rápidamente debajo del agua, ó lo que es lo mismo, de *formar un hidrate sólido en proporciones determinadas.*"

85 En Rusia han conseguido tambien descubrir una piedra caliza, que les proporciona una buena cal hidráulica, á que denominan *cimento-ruso.* El descubrimiento de esta piedra caliza se debe á *MMrs. Clapeyron* y *Lamé*, Ingenieros Franceses adjuntos al Instituto Politécnico de Rusia, que habiéndoseles encargado el buscar piedras de cales hidráulicas, encontraron un lecho que era parte de una vasta formacion calcárea de bancos horizontales, que reposa sobre areniscas cuarzosas micáceas; y segun ellos, daba un cimento preferible al cimento romano de los Ingleses. Él es blanco, se solidifica un poco ménos velozmente; pero adquiere en algunos meses sensiblemente mas dureza. Este descubrimiento ha producido ya en Rusia una economía sumamente conside-

rable en los gastos relativos á las obras hidráulicas, para que se buscaron los espresados criaderos.

La piedra, que *Mr. Lessage* ha examinado, de la que suministra el cimento-romano de los Ingleses, da 44,6 por 100 de arcilla, con óxido de fierro y 55,4 de carbonato de cal.

La piedra de Boulogne daba 46 por 100 de arcilla y 54 de carbonato de cal.

La piedra caliza de Rusia contiene 38 por 100 de arcilla y 62 de cal.

86 Al ver la permanencia de algunos edificios construidos por los Romanos, y principalmente los puentes, se está por lo general en la persuasion de que poseían algun secreto para la fabricacion de las mezclas, argamasas ó morteros, y cuya memoria se ha perdido con el trascurso de los siglos. Yo no soy de esta opinion; ántes por el contrario, comparando los edificios que restan de su tiempo, con los muchos que debieron construir en su estensa y larga dominacion, me parece que existen muy pocos respecto de los que debían quedar; de donde se debe inferir, que sus métodos de construccion no encerraban ningun misterio, y que la permanencia de dichos monumentos, mas bien se debe á la casualidad de concurrir algunas circunstancias locales. En efecto, los Químicos modernos habiendo analizado los morteros, argamasas ó mezclas de los monumentos que hoy existen del tiempo de los Romanos, han encontrado que no se halla en ellos la cal pura, sinó combinada con el ácido carbónico en una proporcion igual á la mitad de la en que se hallan estas dos sustancias en el carbonato de cal ó mármol. Y he aquí de donde proviene en mi concepto la permanencia de algunas construcciones de los Romanos. La cal ejerce una cierta accion sobre el ácido carbónico, y posée una cierta tendencia ó combinarse con él; dicho ácido abunda mas ó ménos en la atmófera en algunos parages, y va tambien disuelto mas ó ménos en las aguas. Siempre que las circunstancias locales hayan podido ser de tal naturaleza, que, construido el edificio, exista en la atmósfera ó en las aguas, la cantidad de ácido carbónico suficiente para convertir en carbonato de cal la costra esterior del mortero, argamasa ó mezcla, como el carbonato de cal es de todo punto insoluble en el agua, y forma por sí una roca, resulta entónces que el edificio presenta una masa sólida, capaz de resistir á las injurias de los tiempos tanto como cualquiera de las otras rocas calizas.

Mas si las circunstancias locales no favorecen hasta el punto de convertir en carbonato de cal esta sustancia de la mezcla, que es di-

soluble en el agua, cederá mas ó ménos á la accion de este agente general; y ya sea por el agua contenida en la atmósfera, ya por la de las lluvias, ya por la que corre por los rios, ó está en los depósitos, irá poco á poco combinándose con ellas, y siendo arrastrada por las mismas aguas, desaparecerá de la mezcla con el trascurso del tiempo; y faltando á la obra la materia que une sus partes entre sí, resultará indefectiblemente su ruina mas ó ménos tarde, segun el grado de intensidad de las causas que á ello cooperen.

87 A esta propiedad se debe, en mi concepto, la constante observacion de que *echando cal sin apagar, ó como se suele llamar cal viva, en un estanque ó depósito de agua, que se rezuma, tapa las hendeduras y detiene la filtracion.*

De dos modos se puede esplicar este fenómeno. El agua disolviendo la cal, la lleva consigo y va pasando por las hendeduras; y evaporándose el agua, ó combinándose con otras sustancias, queda la cal en las mismas hendeduras y las tapa: y si al mismo tiempo se combina con el ácido carbónico ó con otras sustancias que la hagan insoluble, ó se convierte en lo que los Químicos llaman cal hidratata, formará una masa sólida que impide luego el paso del agua.

El otro modo con que se puede efectuar el fenómeno es el siguiente. Si el agua contiene ácido carbónico, este forma con la cal un carbonato; que aunque es insoluble en el agua, sin embargo, cuando esta contiene un esceso de ácido carbónico, se hace capaz de disolver al carbonato: en cuyo caso, el agua, llevando en disolucion el carbonato de cal, si al pasar por las hendeduras, bien sea el agua ó el ácido carbónico, se evaporan, ó se combinan con otras sustancias, se precipita el carbonato de cal que impide el paso del agua. Este fenómeno se observa con mucha frecuencia en las cañerías, que se obstruyen muchas veces, formándose en las paredes del conducto una costra de carbonato de cal, que con el tiempo disminuye muy considerablemente la capacidad que da paso al agua y obstruye algunas veces de todo punto el conducto.

88 De la Análisis hecha por los Químicos, y que hemos referido (§ 86), se ha deducido una consecuencia sumamente importante para las construcciones hidráulicas, á saber: *Que para este género de construcciones conviene, que al fabricar la cal, esté la piedra caliza ménos tiempo al fuego, á fin de privarla solo de la mitad del ácido carbónico*; de modo que en el dia, para las construcciones en el agua, lo que se hace primero es *elegir la piedra mas adecuada para dar la cal hidráulica que se pueda adquirir*; po-

nerla á cocer en el horno ménos tiempo, á saber: como la mitad del que se acostumbra, con el fin de no privarla de todo el ácido carbónico, sinó que le quede como la mitad del que tiene el carbonato; y como en el carbonato de cal, la relacion en que se halla la cal con el ácido carbónico es la de 128,75 á 100, debe cocerse la piedra hasta que contenga 128,75 partes de cal combinada con 50 partes de ácido carbónico; ó hasta que en 100 partes en peso de dicha piedra á medio calcinar se hallen 72,03 partes en peso de cal, y 27,97 tambien en peso de ácido carbónico.

Esta cal, como sale del horno, se medio apaga, se revuelve con algunos granos gordos de arena ó guijo, y estando de este modo á medio apagar y á medio revolver, se echa inmediatamente en la obra con el aparato que se suele llamar artesa ó caja de Belidor, el cual hace que caiga la mezcla ya muy cerca del fondo para que el agua no se la lleve.

89 De este modo he presenciado yo la construccion de las cepas ó cimientos de las pilas ó machones del puente de la *Mulatière* en *Lyon*, de que antes hablamos. Tambien he visto la misma construccion en varios puentes de alambre, cuya edificacion presencié sobre el Ródano reunido ya con el Saone en diferentes parages, y principalmente en Vienne.

Terminarémos este punto recomendando la lectura de la *Memoria sobre los conocimientos actuales de las materias propias para la formacion de los morteros y argamasas calcáreas que se empléan en la construccion de las obras civiles é hidráulicas, por el Arquitecto don Mariano del Rio, mandada imprimir y publicar por la Real Academia de San Fernando en* 1830; y el *Tratado de hacer los morteros ó argamasas por el coronel Romcourt de Charleville, impresa en Paris año de* 1828.

90 Yo he sido siempre muy español en toda la estension de la palabra; y cuando esplicaba á mis discípulos, en el Real Seminario de Nobles, la fortificacion, ataque y defensa de las plazas, teniendo noticias de que para fortificar á Cádiz, se había traido puzolana del Reyno de Nápoles con gastos muy estraordinarios, les refería lo que dice Taramas en la nota (10) de su obra, relativo á encontrarse la puzolana en Cataluña; y yo les añadía por otras investigaciones propias, que tenía noticias de hallarse tambien en S. Felipe de Játiva en el Reyno de Valencia: con lo cual los exortaba á que hiciesen indagaciones por sí mismos, pues no podía ménos de hallarse en tan diferentes y variadas creaciones geognósticas como presenta nues-

tro pais, no solo la misma puzolana, sinó otras sustancias con qué se pudiese reemplazar su uso, y conseguir la construccion de las obras acuáticas con igual solidez, mayor economía, y sin salir dinero fuera del Reyno. Estas idéas, que jamas he olvidado, y las sabias, juiciosas y oportunas máximas que aprendí, al oir las esplicaciones de Mineralogía de mi apreciable amigo *don Donato García*, Profesor acreditado de esta ciencia en el Real Muséo de Madrid, con las que infundía en sus discípulos el deséo de fijar su consideracion en las sustancias minerales de utilidad general, de tal manera dominaban mi espíritu que, al presenciar las construcciones, de que acabo de hablar, tuve muy buen cuidado de examinar dichas operaciones, y de proporcionarme muestras de la espresada cal hidráulica. La que existía en los parages donde se ejecutaban las obras estaba ya cocida; por lo que rogué á *don Luis Bautró*, jóven español sumamente apreciable, empleado en la direccion de la empresa del mencionado camino de fierro, me proporcionase algunos pedazos de la piedra de que hacían aquella cal, segun salía de la cantera. El espresado jóven cumplió perfectísimamente dicho encargo; pues me remitió tres pedazos muy adecuados para que yo formase una completa idéa.

En efecto, la cantera, constando de dos betas unidas, de las que una era blanquizca y otra un poco gris, el mencionado jóven tuvo el acierto de remitirme un pedazo de la parte gris; otro de la parte de la beta en que se une la gris á la blanquizca, y otro de la parte blanquecina.

La cantera se llama *cantera de Jorge*, cerca del pueblo de *Teil* en la ribera del Ródano, comun de Vivier, departamento del Ardèche. El nombre bajo el que distinguen esta especie de cal en aquel distrito es *Teil*.

91 Deseando yo manifestar al público los caractéres de dicha piedra caliza, presenté dichos ejemplares al citado Profesor *don Donato García*; y despues del correspondiente exámen, nos convencimos de que las tres eran lo que en Mineralogía se llama *cal compacta argilífera* ó sea *margosa* ó *marga compacta*. Las tres olían á marga; su estructura es compacta; su fractura es entre concoidéa é igual, con grano basto. Los demas caractéres son los del de carbonato de cal, habiendo hecho efervescencia en el ácido nítrico los tres ejemplares.

92 Mi fin, al traer estos ejemplares, era el compararlos con las cales hidráulicas que pudiesen encontrarse en España, y principalmente con las que yo habia reconocido en Guipuzcoa. En efecto,

cuando yo recorrí dicha provincia en los años de 1824 y 1825, en toda ella encontré minerales, que me presentaban caractéres de cales hidráulicas; y que ademas reunían otras apreciables cualidades como á su tiempo manifestaré si logro concluir mis reconocimientos, ensayos é investigaciones; de que resultarán, sin disputa alguna, los procedimientos que se deberán emplear para sacar algun provecho de lo que allí no produce actualmente ninguna utilidad.

93 Todo lo manifestado hasta aquí, es relativo á indicar los medios, de que se han valido los hombres para remediar el inconveniente que presenta la cal, por su propiedad de disolverse en el agua; y todo el artificio que se ha tratado de conseguir con la *puzolana* antigua, con lo que los Ingleses llaman *cimento-romano*, los Rusos *cimento-ruso*, y los Franceses *cales hidráulicas*, no tiene otro objeto que el de hacer que, dentro del agua, las argamasas adquieran la consistencia de las rocas, ya convirtiéndose dichas argamasas ó su costra esterior en *carbonato de cal* ó en lo que los químicos llaman *cal hidratada*, para conseguir la misma permanencia; pero sobre este particular aun no se tienen los suficientes datos, teóricos ni prácticos, para proceder con absoluta seguridad. Los Ingenieros aconsejan, al manifestar el modo de hacer uso de las cales hidráulicas, que se deje salir de los cajones una gachuela que se forma, sin duda por la parte de cal soluble, ó que se halla en esceso, para que esta no se interponga entre las capas de la mezcla hidráulica; pero los agujeros, que á este efecto aconsejan que se hagan en los cajones cuando se edifica en agua corriente, ó el uso de las bombas para estraer esta gachuela cuando se edifica en aguas estancadas, es insuficiente en mi concepto. Luego no se puede ménos de considerar de la mayor importancia el exámen atento y circunstanciado sobre si hay otros medios de construcciones hidráulicas, que nos liberten de tantos riesgos é incertidumbres; y esto es lo que nos hemos propuesto.

94 Ademas, juzgamos necesario especificar otros verdaderos inconvenientes, que en nuestro concepto, tiene la construccion de las obras hidráulicas en el dia, y que se evitan por el medio que propondrémos.

95 1.º Cuando las obras se hacen de tierra y piedras, las tierras, bien sea en disolucion ó suspensas en el agua, son arrastradas por este líquido; las chinas que hay siempre en la tierra, se introducen entre las piedras, y haciendo oficio de polines ó rodillos, originan el que la piedra resbala con facilidad, á poco que sea el impulso del agua, y queda destruida la obra.

96 2.° Cuando esta se hace con piedra seca, la arena que arrastran las aguas, particularmente en las avenidas, se introduce entre las piedras, sirven de rodillos ó polines, y resbalando las unas sobre las otras, queda destruida la obra.

97 3.° Cuando esta se hace de albañilería, la cal se disuelve en el agua; y al cabo de cierto tiempo, queda la arena sola, que haciendo veces de rodillos ó polines causa el mismo efecto de ántes.

98 4.° Aun cuando la costra esterior se sature de ácido carbónico, y forme un carbonato de cal, que sea perfectamente insoluble, puede suceder que los golpes de los maderos ó árboles que arrastra la corriente en las avenidas, ó cualquier otro estremecimiento de las montañas, originado por temblor de tierra, tempestad &c. hagan que en la obra falte la continuidad en algunos parages, formando grietas, por donde se introduce el agua en lo interior, ya por estar abierta en el momento, ó ya despues por la accion capilar; y como en la mezcla interior, no está carbonatada la cal, se disuelve en el agua, y al cabo de cierto tiempo, quedan solo las arenas y sirven de rodillos, produciendo el efecto que anteriormente hemos espresado,

99 5.° El agua, introduciéndose por las grietas de la fábrica, ya por su presion, ó por la accion capilar, si sobreviene una helada, rompe las partes de la fábrica y la obra queda destruida.

100 Y como aun cuando se haga uso de las mejores cales hidráulicas, á pesar de las precauciones de hacer salir la gachuela para que no quede parte de cal que no sea hidráulica, jamas se puede tener una completa seguridad de que no quede nada soluble en el agua, no puede ménos de considerarse de la mayor importancia el método de construccion que vamos á proponer en el capítulo siguiente, que está exento, en mi concepto, de todos estos inconvenientes. ¡Ojalá que yo no me equivoque, para la felicidad de mis semejantes!

CAPÍTULO III.

Esplicacion de mi nuevo método de construcciones hidráulicas.

101 Mi nueva construccion de obras hidráulicas aparecerá quizá con tanta sencillez, que no se podrá ménos de estrañar el que ántes no se haya discurrido; y consiste *en hacer con materias fundidas una roca artificial, tanto para formar un fondo sólido en*

el parage donde no le haya, como para construir los fundamentos ó cimientos, y las demas partes de las obras, imitando á la naturaleza en sus operaciones. Con lo cual se evitan todos los inconvenientes indicados en el capítulo segundo, y ademas se consigue tanta duracion como la que tienen las rocas naturales.

102 Para dar á conocer la serie de raciocinios, que me han conducido á este descubrimiento, debo recordar, que, segun indicó en varios parages de mis obras, mi digno Catedrático y adorado amigo don Antonio Varas y Portilla, que, como Director de Matemáticas en la Real Academia de San Fernando, ejerce el cargo de examinador de los Arquitectos, Maestros de Obras &c., y por consiguiente se halla con mucha frecuencia en el caso de meditar sobre las aplicaciones de las Matemáticas á todo género de construcciones, *al delinearme el rumbo* que yo debía seguir en mi carrera, me inculcó del modo mas eficaz, que, *para las ciencias de aplicacion*, y con especialidad para *las construcciones, era preciso reunir á los conocimientos matemáticos el concurso de las Ciencias Naturales y Físicas.* Por esta causa, frecuenté cuantas cátedras han existido en Madrid en mi tiempo sobre tan interesantes materias. Así es que, despues de aprendida la Física con *don Joaquin Gonzalez de la Vega*, asistí á las lecciones de Mineralogía de *don Cristiano Hergen*; á las de Química de *don Luis Proust*, y á las de Botánica de *don Antonio Cabanilles* y de *don Francisco Antonio Cea.*

103 En el intérvalo que medió entre 1808 y 1814, absorvió todo mi conato el atender á la guerra de la independencia; sin embargo, el haber sido destinado á los mistos de Artillería de la plaza de Cádiz, me obligó á poner en ejecucion muchas teorías, segun indico en el prólogo de la segunda edicion del Tomo 2.º parte 2.ª de mi Tratado de Matemáticas; y esto me confirmó prácticamente lo que mi respetabilísimo Maestro me había tantas veces aconsejado. Por lo cual, concluida la mencionada guerra, volví á continuar mi asistencia á las cátedras de Mineralogía, desempeñada por *don Donato García*; de Botánica por *don Mariano Lagasca*, por *don Vicente Soriano* y por *don José Demetrio Rodriguez*; de Agricultura por *don Antonio Sandalio de Arias*; de Física y Química por *don Juan Mieg*, y de Química general por *don Andrés Alcon.*

104 Al viajar despues por el Estrangero, he procurado no solo asistir todos los lunes á las sesiones del Instituto de París, sinó á cuantas cátedras hay en dicha Capital sobre las partes sublimes de las Matemáticas y de las Ciencias Naturales y Físicas en los fa-

mosos establecimientos de la Sorbona, Colegio de Francia, Jardin de Plantas, Ateneó, Escuela de minas y Conservatorio de Artes y Oficios.

105 Con esta reiterada asistencia, y con la amistad que procuré contraer con gran parte de tan sobresalientes Profesores, no trataba de aspirar á imponerme en todos los detalles de las espresadas Ciencias, sinó llegar á percibir su enlace y puntos de contacto, para las aplicaciones de las Matemáticas, contrayéndome en particular á las que son mas necesarias en las localidades que presenta nuestra Península.

106 Al oir la esplicacion que se acostumbra dar acerca del orígen de nuestro Globo, y las opiniones de los *Neptunistas* y *Vulcanistas* *, es decir, de los que opinaban que la Tierra se había formado estando en disolucion en el agua las materias, y de los que decían que habían estado fundidas ó derretidas por el fuego; yo prescindía de la cuestion, que ellos tenían por principal, y contrayendo á mi objeto los hechos positivos en que se apoyaba aquella doctrina, concebía yo la posibilidad de realizar mi idéa en la mencionada construccion; pero aun no había reunido suficientes datos y hechos para convencerme hasta el punto de la evidencia.

107 Aunque en todas estas cátedras se hacían aplicaciones, esperimentos, &c., sin embargo, juzgué que era todavía necesario visitar los mismos establecimientos, donde se hacen en grande dichas aplicaciones; y no siendo suficiente para adquirir todas las nociones de práctica, los viages de tránsito que había yo hecho por Francia y por Inglaterra, destiné el último periodo de mi permanencia en el Estran-

* El artículo inserto en la pág. 407 del tomo 34 del *Diccionario de Ciencias Naturales*, impreso en 1825, traducido á la letra, dice así: *Neptunianos* ó *Neptunistas* (*Geol.*). Esta es una de aquellas denominaciones bastante impropias, que se dan á ciertos Sabios; y en el caso actual se aplica á Geólogos, á quienes se atribuye la opinion de que todas las rocas, que no han sido evidentemente fundidas, son el producto de una disolucion ó de un sedimento acuoso; se aplica principalmente á los que han admitido para el basalto y las rocas que les son subordinadas, un orígen semejante. Muchos discípulos de la escuela de Freyberg, bajo el ilustre *Werner*, habían adoptado esta manera de ver, y la habían hecho casi esclusiva. En la actualidad, no solamente la mayor parte de los Geólogos, sinó aun los de esta misma escuela, abandonan esta idéa; que no nos parece inexacta sinó cuando se hace demasiado general, para caer en la hipótesis opuesta de atribuir la formacion de casi todas las rocas cristalizadas y duras á la accion de la fusion ígnea. En este último caso, se les llama *Vulcanistas* y aun *Plutonistas*, segun estienden mas ó ménos léjos la influencia de esta accion. *Mr. Daubeny*, jóven Geólogo ingles, se ha entretenido en formar una escala, como termométrica, del calor mas ó ménos vivo con que cada Geólogo ha sostenido la una ó la otra hipótesis.

gero, para reconocer todas las obras y establecimientos que mas conexion podían tener en promover la prosperidad de mi pais: y con ese único objeto emprendí un viage hácia la parte meridional de Francia, y despues otro á la parte nordeste, á la Bélgica, y á la Holanda.

108 Contrayéndome á esponer aquí lo que mas relacion tiene con este asunto, diré que formó una parte muy esencial de mis observaciones, el examinar los hornos altos que, para la fundicion del fierro, existen entre Saint-Etienne y Lyon, y muy particularmente los establecidos en *Terre-noire* cerca de *Saint-Etienne*. Allí noté, que las escorias de la fundicion del fierro salen del horno en estado líquido ó fundido; que corren un cierto espacio y despues se coagulan ó solidifican; y tuve muy buen cuidado de observar que la escoria que salía cada vez, se incorporaba con la que había salido anteriormente formando una sola masa; y que para quitarla de allí, cuando era necesario, la tenían que hacer pedazos, porque formaba una especie de roca, de la que conservo algun pedazo.

109 Tambien advertí que el fierro de primera fusion salía y se conservaba fundido, esto es, en estado líquido, mas tiempo que la escoria: lo cual me afirmó ya mucho en mi idéa, pero aun me faltaba asegurarme mas.

110 Muy lisongeado ya con esta esperanza, recorrí á pie todas las obras del camino de fierro que se estaba entónces haciendo entre Saint-Etienne y Lyon, bajando á todos los taladramientos de montañas, y subiendo á todos los terraplenes; asistí en medio del rio á la construccion de los machones del puente de la Mulatière en Lyon, y yo mismo estuve tirando de la cuerda para clavar los pilotes en medio de la corriente, vaciando tambien por mí mismo la caja de *Belidor*, modificada por *Vicat*, para echar la mezcla hidráulica, que allí llamaban *beton*, presenciando todas aquellas operaciones, y comparándolas con los procedimientos que yo combinaba en mi cabeza, usando de materias fundidas para suplir todas aquellas complicadas y costosísimas operaciones: en términos, que allí vine casi á decidirme, estando en medio del rio, aunque todavía necesitaba examinar y comparar algunos otros hechos. Las mismas observaciones hice al examinar las obras del arsenal de Tolon, las del puerto de Marsella, y una multitud de puentes colgantes, hechos de alambre, que se estaban entónces construyendo, y con especialidad el de *Vienne* sobre el Ródano, que lo reconocí sumamente despacio, descendiendo hasta el nivel del agua en el machon ó pila que tenía en medio, y subiendo hasta su punto mas alto para ob-

servar el modo de colocar los cables, hechos con alambres, y ya desde este momento no dudaba en mi interior del buen éxito de la construccion de obras hidráulicas que tan asiduamente premeditaba.

111 Deseando examinar si podría ser susceptible de estenderse á todo género de construcciones, me decidí á recorrer la Bélgica y la Holanda.

En Lieja observé el mismo fenómeno en las escorias del horno alto que, para la fusion del fierro, había en el establecimiento que dirigía *Mr. Cockeril*: y al reconocer las magníficas y costosísimas obras hidráulicas de Ambéres, Roterdam, Leiden, Amsterdam, la Haya, &c., &c., me llegué á confirmar en que mi nuevo método era aplicable á todo género de construcciones; y desde aquel instante formó esto el objeto preferente de mi meditacion: de modo que, en todas partes donde yo me hallase, cualesquiera que fuesen los asuntos que en lo esterior pudieran llamar mi atencion, mi espíritu solo se ocupaba en esta importante materia: y este es el orígen de una especie de distraccion que han notado en mí las personas que me tratan con intimidad; pues, en efecto, por interesante que fuese la materia discutida en mi presencia, jamas llenaba del todo mi alma, y yo pensaba siempre en mi idéa predilecta de la mencionada construccion.

112 Aunque yo había observado que las escorias de los hornos altos de Terre-noire y Lieja formaban una misma masa con las que habían salido anteriormente, me quedaba aun la duda de *si sucedería lo mismo á los metales, como por ejemplo al fierro, y si estos eran capaces de formar una misma masa ó todo con las piedras y con otros pedazos de metal; y si esto podría verificarse tanto al aire libre como dentro del agua.* Mi entendimiento me anunciaba que sí; pero en materias como estas, no bastan los raciocinios; es indispensable que los hechos los confirmen. En este punto, no quise hacer ninguna pregunta á nadie; porque en los paises Estrangeros se hallan tan duchos en esto, que á la primera indicacion hubieran caido en la idéa, y se hubieran aprovechado de mi invento. Por lo cual yo solo tenía que formar mis investigaciones disimulando el objeto.

113 En París contrage amistad con un Ingeniero mecánico de mucho mérito llamado *Mr. Saulnier*. Este apreciable sugeto era jóven; y conociendo que la base principal de toda la maquinaria, era hacer uso de una buena fundicion de fierro, había hecho venir un fundidor Ingles, y le había puesto un Establecimiento de fundicion

al lado de su misma casa para fundir las piezas que él necesitase. Allí se me proporcionó hacer algunos ensayos para confirmarme en mi idéa. En efecto, con la recomendacion de *Mr. Saulnier* y con algunas gratificaciones mias á los operarios, entré allí diferentes veces, andando por todas partes y observando todo lo que me convenía, sin que nadie me dijese nada.

114 Cuando el fierro fundido lo echaban en los moldes, quedaba líquido por mucho tiempo; yo iba introduciendo un clavo en la parte superior de los moldes, y observé que el clavo se traía cada vez una parte de la fundicion de fierro; lo que ya probaba que el fierro dulce, como era el del clavo, se adhería y formaba una misma masa con el colado, puesto en contacto con él; de modo que me cercioré de que si, en vez de retirar el clavo, lo hubiera dejado sumergido, al endurecerse ó coagularse el fierro fundido, hubiera quedado el clavo, formando una masa sólida con él. No lo hice, porque esto era perjudicial á la pieza fundida, y porque no quería llamar la atencion: pero lo que sí hice, fué introducir el mismo clavo, despues de pasado algun tiempo, en los moldes que contuviesen fierro fundido de otra fusion posterior, á fin de observar si el fierro fundido que estaba pegado á la punta del clavo, pero ya frio, al introducirse en el fierro fundido despues, formaba una misma masa. Y observé que sí, esto es, que, introduciendo la punta del clavo en un molde, volvía á adquirir otra porcion de fundicion de fierro, que formaba una misma masa sólida con la anterior, y vuelto á introducir en otro molde, volvía á adquirir otra porcion, y así lo repetí hasta un cierto número de veces: lo cual lisongeaba mi espíritu de un modo muy estraordinario; y era indispensable mucha prudencia, para que no dejase yo conocer mi gozo interior.

115 No bastaba esto para confirmarme de todo punto en mi pensamiento; y con muchos rodéos, y ofreciendo pagar la fundicion que se desperdiciase, y ademas gratificar á los operarios, pude conseguir que en un parage cualquiera del establecimiento, donde yo con estudio, aunque aparentando que no lo había, puse algunas chinas y pedazos de fierro dulce y de fundicion, echasen una porcion de fierro fundido. Lo echaron en efecto, y observé que las piedras habían subido por su menor peso específico á la parte superior, y que todas aquellas materias se habían adherido bastante bien en la parte que no estaban cubiertas del polvo, ó arenilla que había en el suelo. Insistí en que, al sacar otra fusion, volviesen á derramar una cierta porcion encima de la primera, y observé que todo formó una masa

sólida, que habiéndola pagado, me la traje conmigo y la conservo.

116 Esto ya me confirmó, sin que me quedase la mas mínima duda; y aquel mismo establecimiento me suministró la idéa para el horno portátil que yo propongo para hacer la fusion en las mismas obras. Allí había dos hornos altos, pero en pequeño, que tendrían por la parte esterior como unos 3½ pies de diámetro, y unos 10 pies de altura, cubiertos con hoja de fierro; para comunicarle el aire, se hacía uso de unos fuelles, movidos por una ó dos caballerías; y desde aquel mismo instante, discurrí que, para efectuar la fundicion de las materias en las mismas obras, podría servir un horno de aquella forma que fuese portátil, esto es, que sus partes se pudiesen separar con el fin de trasportarlas fácilmente, y colocar ó armar el horno en un carro, lancha ó gabarra para acercarlo al parage donde conviene echar las materias fundidas; y para dar el movimiento á los fuelles, una rueda de clavijas movida por hombres, como lo representa todo la (fig. 66) *.

117 Ya estaba yo perfectísimamente convencido de que no podía ménos de tener buen éxito mi pensamiento aun dentro del agua; pero todavía no tenía ningun esperimento directo que lo comprobase. Yo concebía que lo único que podría suceder era el que parte del agua se convirtiese en vapor al tiempo de caer las materias fundidas; pero no omití medio ni diligencia para hacer semejantes ensayos. A pocos dias de entrar en España, visité un martinete de cobre, que tiene *D. N. Duciols*, en Tolosa de Guipuzcoa; presencié una fusion, y le dije si tendría inconveniente en derramar un poco de cobre fundido en una vasija con agua. En un principio tuve reparo, temiendo alguna esplosion; pero este apreciable sugeto, reuniendo á su mucho espíritu, el mayor deséo de agradar, se resolvió á verificarlo; y en su consecuencia, pusimos un caldero de agua en un parage arrimado á la pared no muy distante de la puerta; yo eché con disimulo en el caldero un puñado de arena; el *señor Duciols* tomó en un cazo de un mango muy largo una porcion de cobre fundido; convinimos en que se resguardase dentro de la puerta, y los demas circunstantes, entre quienes se hallaban el *señor Conde de Villafuentes* vecino de la misma ciudad de Tolosa, y el *señor Conde de Robres* que lo es

* La fábrica interior del horno me parece que se podría efectuar de una sola pieza con la piedra que designan con el nombre de *loca* en Ballecas, que tiene la propiedad de ser muy refractaria, y de cortarse como el jabon al salir de la cantera. Mas si la esperiencia diese á conocer que esta no era bastante adecuada, no había mas que disponer el horno interiormente, como los de la fundicion próxima á la casa de Mr. Saulnier en París.

de Zaragoza, nos retiramos á una cierta distancia. Verificado el derrame del cobre fundido en el caldero de agua, no produjo mas efecto que un gran borboton de vapor, que hizo salirse parte del agua del caldero. El cobre fundido, con el movimiento del pulso y el del caldero, no formó una masa sólida sinó una especie de granalla; pero en la cual se advirtió que dicho metal cubría y se amoldaba sobre algunos de los granos de arena, que era el efecto que yo deseaba observar.

118 Convencido ya de que las materias fundidas se amoldaban y cubrían á lo que existía debajo del agua, formando un todo, es decir, una sola masa, únicamente me restaba esperimentar si las materias fundidas y solidificadas dentro del agua, formaban una sola masa cuando sobre ellas se volvían á echar materias fundidas. Se me proporcionó la ocasion de hacer este esperimento en la Escuela de Minas de Madrid en este mismo año de 1831. En efecto, yo había tenido la satisfaccion de conocer en París al Catedrático de Química aplicada á la Docimasía don José Duro, y á su Ayudante don Manuel Gonzalez Arnao; y habiendo yo asistido á esta cátedra todo el tiempo que he permanecido en Madrid, un dia que se trataba de formar granalla de zinc para los usos del laboratorio, manifesté mis deséos de hacer un esperimento; y el dignísimo Catedrático, ya citado, accedió en el mismo instante.

Se llenó una pila de agua; y en el fondo eché arena, pedazos de teja y ladrillo, y algunas piedrezuelas y astillas de madera que encontré en el jardin. Se echó encima el zinc fundido; y siendo poca la arena en comparacion del fondo de la pila, al caer el zinc, hizo que dichas materias resbalasen, por lo que no formaron cuerpo con el zinc. Para evitar el que se desparramasen las espresadas arenas, piedras, &c., &c., las eché dentro de un almirez de fierro colado, por ser corta la cantidad de zinc, que se podía fundir; metí el almirez con la arena, cantos, pedazos de ladrillo, teja, astillas de madera, &c., debajo del agua; hice derramar el zinc fundido en tres veces, para observar si formaba despues una masa sola. Echada la primera cantidad, noté que el zinc había quedado cubriendo las piedras y la arena, cascos de teja, &c.; pero no se verificó el que las espresadas materias subiesen por su menor peso específico, segun debía verificarse. Esto provino de que era corto el espacio y pequeña la cantidad de zinc, y de que este metal se coagula muy pronto dentro del agua, pero no me queda duda de que con el cobre y con el fierro, con el bronce y con otras aleaciones ó ligas, se producirá di-

cho efecto, que es de suma importancia para nuestro intento. Al cabo de cierto tiempo, se derramó de nuevo otra porcion de zinc fundido sobre la anterior, la cual quedó adherida á la primera porcion. Pasado otro rato, se volvió á echar la tercera porcion, la cual quedó perfectamente adherida á la que ya existía; y sacado fuera del agua, se advirtió que todo formaba una masa sólida; por la parte inferior se ven las piedras sujetas por la masa de zinc, y esta parece como si se hubiese hecho de una sola fusion. Con lo cual, ya no me queda la mas mínima duda en que por este medio se pueden obtener los mas sólidos cimientos ó fundamentos en el agua, sin ninguno de los costosos requisitos que hemos anunciado en el capítulo II. Y siendo esta la primera dificultad, que ofrece todo género de construccion hidráulica, resulta conseguido ya nuestro objeto.

119 Indicada ya la base fundamental, ó el principio de mi nuevo método, son muy fáciles de inferir los medios de ejecucion, que mejor convengan á las circunstancias locales; y estoy seguro de que, á cualquiera de las personas destinadas á este género de construcciones, les ocurrirán idéas felices para poner en práctica este pensamiento. Sin embargo, como, á primera vista, podrá suceder que el lector se aterre ó espante, juzgando que esto será demasiado difícil y costoso, debemos ante todas cosas disipar este terror ó prevencion.

Con este objeto, debemos observar que nuestro nuevo método de construccion de obras hidráulicas se reduce únicamente á dos cuestiones:

1.ª *Encontrar en cada parage, donde se haya de construir, las sustancias que puedan fundirse, y ser adecuadas para producir lo que se apetece*; 2.ª *proporcionarse el combustible necesario para fundir las espresadas sustancias.*

120 1.ª *Cuestion.* En cuanto á la primera, debemos observar, que como en el dia todas las sustancias, sean tierras, sean piedras, sean metales, son fusibles, y estas se hallan en todas partes, pues todo terreno se compone de dichas sustancias y no de otras, resulta que en todas partes se encontrarán los materiales para esta nueva construccion, casi al pie de la misma obra que se trata de ejecutar. Por consiguiente, lo relativo á esta cuestion, se reduce *á investigar cual es la aleacion ó aligacion mas conveniente, entre las que se hallen en cada localidad donde haya de construirse, que presente el máximo de ventajas.* Para esto, es necesario determinar de antemano, por esperimentos sintéticos, cuales son en general las aleaciones ó aligaciones que puedan ser mas adecuadas, para despues elegir aquella que pueda ser mas conveniente en cada parage, tanto

por razon de la economía, como por la solidez, duracion, &c., &c.

Los esperimentos directos que convendría practicar con este motivo, se reducen á los que conduzcan á la solucion de este problema: *Determinar, por la via esperimental, cuales son las aleaciones ó aligaciones que resultan de la combinacion de las diferentes sustancias metálicas* (hablando en el lenguage de los Químicos, y comprendiendo en ellas por consiguiente todas las tierras y todas las piedras), *que presenten en el mayor grado posible las propiedades siguientes: fundirse pronto; conservarse mucho tiempo fundidas fuera del hogar, para que puedan penetrar en estado líquido por medio del agua y las arenas, ocupando todos los intersticios de estas; no ser agrias ni quebradizas, sinó que tengan una cierta ductilidad, tal que las hagan ceder á cualquier choque, sin que por esto falte la continuidad en toda la masa; que la dilatacion que produce el calor, y la contraccion que origina el frio, no hagan desunir las partes; y que ademas, estas ligas ó aleaciones sean lo ménos alterables al contacto del aire y del agua, poseyendo la mayor tenacidad.*

Aunque algunas de estas propiedades podrán aparecer contradictorias, sin embargo, si se atiende á los progresos que las Ciencias de observacion, auxiliadas por el cálculo, han hecho en estos últimos tiempos, se concebirá fácilmente que podrá encontrarse una tal combinacion en cada localidad, que satisfaga á las necesidades en la práctica. Para convencerse de ello, bastará observar que las sustancias que los Químicos reconocen en el dia como metales llegan á 38. Si descartamos 4 de estas sustancias, que no se pueden alear ó combinar, nos quedan 34. Estas 34 sustancias, en virtud de la fórmula del (§ 299 del Tomo 1.° parte 1.ª del T. E.) se pueden combinar ó alear de 561 modos diferentes tomadas de dos en dos; y como en el dia solo se conocen cuando mas 140 de estas aleaciones, es de presumir, que en las 421 que no se conocen, se hallen algunas que se aproximen lo necesario á las circunstancias espresadas, al ménos en el grado que se pueden necesitar en las aplicaciones ordinarias.

Si hallamos el número de combinaciones que la misma fórmula da para las de 3 en 3, resultan 5984; de estas se conocen en el dia un número muy inferior al de las binarias ó tomadas de 2 en 2; luego en las muchas que hay desconocidas, es probable se encuentren algunas que poséan con cierta aproximacion las circunstancias espresadas.

La misma fórmula da para las combinaciones ó aleaciones de

las espresadas sustancias, tomadas de 4 en 4, el número 46376; y como los Químicos aseguran que apenas se pueden citar las aleaciones cuaternarias, se deduce que en un número tan considerable que hay desconocidas, podrán encontrarse algunas que reunan aproximadamente las circunstancias enunciadas.

No han llamado todavía la atencion de los Químicos, las combinaciones quinarias ó que contengan las sustancias metálicas combinadas de 5 en 5, y mucho ménos las de 6 en 6, las de 7 en 7, &c.; pero nosotros, con el fin de manifestar la posibilidad de encontrar algunas que reunan aproximadamente las circunstancias enunciadas, vamos á continuar este cálculo, para que presentándose bajo un golpe de vista la inmensidad de aleaciones que nos son desconocidas, y teniendo en consideracion que cada una de ellas debe poseer propiedades hasta cierto punto diferentes, se conciba la verdad de cuanto aseguramos; y que, procediendo á ejecutar los competentes ensayos, no se tardará mucho en obtener algunos resultados que basten para satisfacer el objeto que nos proponemos, segun las necesidades de la práctica.

En efecto, la misma fórmula, para las combinaciones de 5 en 5, da. 278256

Las combinaciones de 6 en 6 ascienden á.	1344904
Las de 7 en 7 á.	5379616
Las de 8 en 8 á.	18156204
Las de 9 en 9 á.	52451256
Las de 10 en 10 á.	131128140
Las de 11 en 11 á.	286097760
Las de 12 en 12 á.	548354040
Las de 13 en 13 á.	927983760
Las de 14 en 14 á.	1391975640
Las de 15 en 15 á.	1855967520
Las de 16 en 16 á.	2203961430
Las de 17 en 17 á.	2333606220

Las de 18 en 18 son las mismas que las de 16 en 16; las de 19 en 19 las mismas que las de 15 en 15; y así se verifica en un órden inverso hasta las de 33 en 33, que son las mismas 34 que resultan tomándolas de una en una.

Luego en un número tan considerable en combinaciones ó aleaciones, que nos restan por conocer, no se puede dudar que se hallarán algunas adecuadas. Mas todo este número tan considerable lo hemos obtenido, prescindiendo de las cantidades en que pueden entrar

estas sustancias en la liga ó aleacion; mas si atendemos á que en cada una se pueden variar al infinito las cantidades en que entra cada sustancia, nos veríamos en un compromiso algo serio para espresar por números la infinidad de infinidades de combinaciones ó aleaciones que se podrían formar atendiendo á esta variacion; de donde resulta la grandísima probabilidad que hay de encontrar en cada parage lo que apetecemos, al ménos con el grado que pueden necesitar nuestras urgencias en la práctica.

En general, cuando se haya de edificar en seco por nuestro nuevo método, parece que convendrá usar de sustancias que sean las componentes aproximadamente de la roca ó piedras con que han de servir; pues esto facilitará la union de unas con otras; y resultando mayor homogeneidad, se conciliarán mejor todas las circunstancias.

121 2.ª *Cuestion.* En cuanto á la segunda cuestion, que es la de *proporcionarse combustible*, deberémos observar, que desde que se hace uso de la *hornaguera*, *lignites*, *antracita* y *turba*, que abundan mas ó ménos en diversas localidades, se tiene un grande auxilio para evitar el destrozo de los montes, y suplir su falta donde no los hay. Pero se debe tener en consideracion, que para este objeto es bueno cualquier combustible; y así pueden servir tanto los que acabamos de citar, como el carbon ordinario; y ademas, yo tengo discurrido, que *si se mezclasen en porciones determinadas el carbon de leña ó de piedra con pedazos de leña verde, ésta aumentaría la combustion*; porque el agua que contiene la leña verde se descompondría y aumentaría la intensidad del fuego, del mismo modo que se verifica con el agua que los herreros echan con la escobilla en las ascuas. Aquí importa poco que el carbon de piedra, turba, lignites ó antracita, sean puros ó impuros; y aun á veces se pueden sacar ventajas de que sean impuros; pues las materias que traiga consigo podrán servir en muchas ocasiones de fundente para las demas sustancias. A pesar de esto, aun podrá suceder que se considere la falta de combustible como un obstáculo entre nosotros; pues aunque tenemos en muchísima abundancia carbon de piedra, como aparecerá en la obra que preparamos sobre la *Riqueza mineral de España*, no están todavía espeditos los medios de estraccion y conduccion. Pero si se reflexiona, que para cocer la cal es preciso combustible, no se podrá poner en duda que habrá casos en que se necesite mas combustible para hacer la cal que entra en una masa de fábrica de un volúmen tan colosal como se acostumbra por el método ordinario, que para la fusion de las sustancias necesarias para formar nuestra roca

sólida, mucho mas reducida en su volúmen, y que resistirá mas que las ordinarias. Luego se debe inferir que, aun considerando aisladamente esta cuestion, se necesite ménos combustible para fundir las sustancias por nuestro método, que el indispensable para formar la gran cantidad de cal que se necesita en las construcciones ordinarias.

Entendido esto, pasemos á indicar por mayor el modo de proceder en cada una de las principales obras hidráulicas.

Modo de fundar ó hacer los cimientos por este nuevo método en toda clase de obras hidráulicas, cualquiera que sea la naturaleza del terreno.

122 El caso mas desventajoso para fundar en el agua, segun la opinion de todos los que se han ocupado de esta importante materia, y aparece de lo espuesto en los dos capítulos anteriores, es cuando el *suelo sea cenagoso.* Veamos lo que conviene en este caso para fundar con toda solidez por nuestro método. No hay mas que *usar de materias, cuyo grado de calor, despues de fundidas, sea tal que puedan penetrar en el estado líquido por la espresada masa hasta llegar al fondo firme*, que por precision lo ha de haber á mas ó ménos profundidad. Cualesquiera que sean las materias en fusion, con tal que tengan algunas sustancias metálicas, se hallan dotadas de mayor peso específico que el fango y que las piedras sueltas, cascajo, arena ó guijo que pueda encontrarse en dicho fondo.

En efecto, el peso específico del fango jamas se podrá suponer igual con 2; y el de las piedras, como puede verse en la tabla (§ 43 Mec. Práct.), jamas podrá llegar á 3; pues que los espatos pesados y las piedras preciosas no corresponden á semejantes situaciones geognósticas; pero aun cuando se quisiese suponer el caso mas desfavorable, jamas podría encontrarse ninguna piedra, cuyo peso específico llegase á 5; y como el peso específico de todos los metales, como puede verse en la misma tabla, resulta siempre mayor que 5, se concibe con facilidad que no podrá costar mucho trabajo el hallar una combinacion de materias fundidas, en que, entrando algunas sustancias metálicas, resulte mayor peso específico que las materias sueltas que forman el terreno falso; y que por consiguiente, echando un chorro de ellas en estado de liquidez, penetrará por el fango; este se elevará por su menor peso específico á la parte superior, lo mismo sucederá á las arenas, cascajo, &c.; y las materias fundidas penetrarán hasta donde no haya ni fango, ni arena, ni piedras sueltas; y por consiguiente llegarán hasta el terreno firme

ó sólido. Las espresadas materias fundidas se esparcirán á una cierta distancia en el fondo en todos sentidos, y quedarán coaguladas en forma de cono mas ó ménos aplastado segun su naturaleza. Dicho cono contendrá algunas piedras, arenas &c. en el medio, á los lados y á la parte superior; en términos que allí resultará por este medio una masa sólida. Volviendo á echar materias fundidas, se irán coagulando sobre las anteriores, formando una masa sólida ó roca; la cual presentará tanto mayor obstáculo al movimiento en cualesquiera direcciones, cuanto mayor sea su peso específico; y ademas, por tener su superficie la forma redondeada, presentará mayor dificultad á moverse por las oleadas ú oscilaciones del agua ó del fango. Supongamos que *ABLM* (fig. 67) represente el corte vertical del parage donde se quiere fundar. Que *AB* sea el nivel superior del agua; *FG* el nivel superior de la capa del fango; *HI* el de la arena móvil ó suelta, cascajo, piedras ó guijo; y *LM* ya el terreno firme * que estará compuesto ó de piedras trabadas por algun glúten, como representa la parte *X*; ó por roca homogénea, como representa la *Y*; ó por arcilla compacta ó consolidada, como representa la *Z*.

Si suponemos que por el punto *a* se derraman las materias fundidas, éstas, al tocar en el agua, convertirán en vapor una cierta porcion, que es lo que representamos por la especie de nube en *a*: y despues penetrarán como acabamos de espresar, en virtud de su mayor peso específico hasta el fondo sólido; hará que se levanten las piedras sueltas, y se irá estendiendo en todas direcciones y ocupando todas las cavidades que haya en la parte superior del terreno firme; y al coagularse ó solidificarse las materias fundidas, comprenderán en el medio, á los lados, y por la parte superior algunas arenas, piedras &c., en términos que, al acabar de consolidarse las materias fundidas, presentarán la forma *mno*, que, si se le diese un corte por el medio, presentaría el aspecto de un pedazo de turron, y formaría una sola masa sólida, que no se diferenciaría en nada de lo que los Mineralogistas llaman *brecha ó pudinga* **: y cuya superficie esterior se-

* Representamos indicadas estas capas solo en una pequeña parte al principio, para que no resulte confusa la figura.

** En efecto, los Mineralogistas llaman *brecha* á las piedras ó rocas compuestas de la aglomeracion de fragmentos ó trozos angulosos de otras piedras, diseminados sin órden en una pasta, glúten ó argamasa, cualquiera que sea su naturaleza; y llaman *pudinga* á la piedra ó roca compuesta principalmente de fragmentos redondos ó cantos rodados, no cristaliza-

ría entre esferoídica mas ó ménos prolongada, y de cono mas ó ménos achatado, segun sea la naturaleza de los cantos y el grado de calor y peso específico de las materias fundidas: quedando todavía sobre ella cantos y arenas sueltas, si estas se hallaban en abundancia. Echando una segunda porcion de materias fundidas, desalojarán todo el fango y las arenas sueltas que hayan podido quedar sobre la masa sólida mno, y resultará una brecha ó pudinga hasta una altura, por ejemplo, como la $m'n'o'$. Echando otra capa de materias fundidas, se llegará á formar una capa sólida hasta $m''n''o''$, ya se componga en parte de *brecha ó pudinga*, ya solo conste de las materias fundidas que se hayan solidificado. Echando nuevamente materias fundidas, se elevará mas la capa sólida que se halla debajo del agua, y estará representada por ejemplo en $m'''n'''o'''$. Supongamos que á la quinta vez, que se echen materias fundidas, la parte superior de la masa solidificada, se halle representada por $m^{\text{IV}}n^{\text{IV}}o^{\text{IV}}$, que está fuera del agua. En este caso, teniendo ya una parte sólida fuera del agua, sobre ella se puede construir en la forma ordinaria, y tenemos conseguido nuestro objeto. Sin embargo, podemos continuar con ventajas por este nuevo método, practicando lo siguiente.

En la parte superior n^{IV} se puede colocar una masa ó piedra, que no se necesita que esté labrada, y que pueden servir las lajas que se encuentran con mucha frecuencia en los terrenos que presentan sus capas como pizarrosas; á dicha piedra se le puede hacer uno ó mas agujeros para poder echar por ellos las materias fundidas. Se coloca dicha piedra en situacion horizontal por medio de cantos ó cuñas de metal, y para que no se desperdicie la materia fundida, se pueden poner al rededor unas tablas ó cajas de piedra ó metal en forma de molde, como se representa en rt. Se echan materias fundidas por el agujero ó agujeros de la piedra, las cuales descenderán hasta el fondo, rellenarán todo el hueco formando una parte sólida unida con la masa anterior $m^{\text{IV}}n^{\text{IV}}o^{\text{IV}}$, con los cantos ó cuñas y con la piedra: y tenemos ya una superficie horizontal sólida fuera del agua, donde podrá seguirse la edificacion por el método ordinario, ó por el

---

dos y aglutinados por una pasta de cualquier naturaleza que pueda ser. Por ejemplo, si en las partes que resultan de lo que desprenden con el cincel ó puntero los picapedreros, echamos una materia fundida, se formará lo que se llama *brecha* en Mineralogía; y si se echase sobre guijo, cascajo, &c. se formaría una *pudinga* en el sentido mineralógico.

presente si este fuese mas ventajoso en las localidades en que se opere. Si una sola piedra no es suficiente, se pondrán las necesarias para que formen una superficie horizontal con ciertos intérvalos; y en las junturas, se echarán materias fundidas: con lo que todo formará una masa sólida, la cual será tanto mas resistente, cuanto las piedras presenten mas esquinas, porque de este modo se enlazan mejor las unas partes con otras. Por manera, que aquí, mientras ménos labradas estén las piedras, adquiere mas solidez la obra: resultando por lo mismo en esta nueva construccion que *caminan á la par la economía y la solidez, únicos polos sobre que deben girar todas las investigaciones*, si han de producir la correspondiente utilidad.

123 Un machon ó pila, como la que tenemos formada hasta *rt*, resistirá sin disputa alguna á todo género de esfuerzos, mas que una construida por el método que se acostumbra en el dia, y que tuviese una masa lo ménos seis veces mayor: y no aventurarémos demasiado en asegurar, que la nuestra resultará con mayor economía de gasto, y que el combustible necesario para fundir las materias sea ménos que el indispensable para cocer la cal que ha de entrar en una mole lo ménos seis veces mayor construida por los métodos conocidos usuales.

Luego, aun en el caso mas desventajoso, nuestra nueva construccion es mas económica, mas sólida y permanente que la ordinaria.

124 Pero aun en este mismo caso mas desventajoso, se pueden reducir los gastos muy considerablemente. En efecto, formada la primera base *mno*, que se estenderá en todos sentidos lo que se juzgue conveniente, variando el punto de derrame de las materias fundidas, tenemos ya una base sólida que mientras mas estensa y ménos gruesa resulte, será mas sólida y ménos costosa: despues, ya se puede proceder con mas economía del modo siguiente:

Se puede formar una especie de cajon ó molde, que tenga la forma que se quiera dar al machon, ú obra que se trata de construir, y el grueso adecuado á la cantidad de materias que de una vez se puedan fundir. Este cajon podrá ser de chapa de fierro, ya sea fundido, ya forjado, de madera ó de lajas de piedra en forma pizarrosa, de vidrio ó de cualesquiera otras materias fundidas, segun lo que proporcione el pais; pero será muy conveniente el que sus junturas no unan bien, y que haya varios agujeros en diversos parages. Este cajon ó molde, si es de materias metálicas ó piedra, pesará mas que el agua y que el fango; y dejándolo caer por medio de

cuerdas, á la manera que desciende la caja ó artesa de *Belidor*, se irá al fondo, no solo del agua, sinó tambien del fango; en términos, que descenderá y se aplicará sobre la roca artificial que han formado ya las materias fundidas de los primeros derrames; y si es de madera, en cualquiera de sus partes se colocarán materias metálicas ó piedras, hasta que se haga mas pesado que el agua y que el fango, y pueda descender en los mismos términos de ántes. Conseguido esto, se echarán piedras, cantos ó sustancias metálicas, hasta que el cajon ó molde se encuentre lleno sobre poco mas ó ménos. Entónces, se derraman las materias fundidas; las cuales formarán una masa sólida con todo lo anterior; dentro del cajon resultará una brecha ó pudinga, y por las junturas y agujeros laterales, saldrán materias fundidas, que descenderán hasta la parte sólida de la roca artificial, y quedará el cajon sujeto en todos sentidos y formando parte de esta especie de machon ó pila, como representa *pqrs* en la misma figura 67. Si no hubiese ya fango, ó no fuese demasiado espeso el cajon, podría bajar lleno de piedras ó sustancias minerales, sostenidas por algunos travesaños en el fondo; y para disponerlo abajo del modo mas conveniente, podrán bajar buzos, en caso necesario, lo que facilitará la operacion. El objeto de esta especie de cajon ó molde, y de contener piedras ó minerales, no es otro que el de economizar las materias fundidas; cuyo ahorro será siempre de mucha consideracion y podrá llegar á ser la cuarta, quinta, sesta, &c. parte del total. Sobre este cajon se podrá disponer que se coloque otro, cuyas dimensiones vayan disminuyendo; y echando materias fundidas, resultará otra porcion de roca artificial, unida con la anterior y representada por $p'q'r's'$; continuando del mismo modo, y disminuyendo siempre las dimensiones de cada cajon, á fin de que la roca artificial, ó pila que resulte, vaya teniendo una escarpa en todos sentidos ó en donde mejor acomodase, y la pila ó machon resulte en forma de trozo de pirámide, ó tenga una forma *conoídica*, al cabo de cierto tiempo, llegarémos á tener una parte *i* fuera del agua, como se ve en la figura: en cuyo caso, se podrá seguir, bien sea el método ordinario de construccion, bien sea este segun se juzgue mas conveniente.

125 Si por las circunstancias particulares de las obras, se juzgase oportuno enlazar entre sí estos diversos pilares, podría efectuarse por uno de estos métodos. Si en el terreno inmediato hubiese lajas de piedra, que se pudiesen sacar con facilidad, como tengo yo reconocido en Guipuzcoa, en Asturias, en las vertientes del Lozo-

ya, &c., y resulta verificarse en casi todo el curso del Tajo, segun la Memoria de don Francisco Javier Cabanes, entónces se podrán sacar de la misma cantera pedazos de cualquier ancho, y de la longitud que convenga para llegar de un machon á otro.

Si no hubiese lajas de piedra de esta naturaleza, se harán barras de fierro fundido ó forjado, de bronce ó de cualesquiera ligas metálicas, que puedan resultar con mas conveniencia en la localidad donde se opera; las cuales no presentarán el inconveniente espresado (92); porque, como están debajo del agua, nunca pasan de un gran calor á un gran frio, ni al contrario; se pondrán ya estas barras, ya las piedras en cualquier situacion, pero que convendría mejor fuese en direccion horizontal, lo que se conseguirá en caso necesario por medio de buzos, si esto es debajo del agua, ó haciéndolas descender por cadenas ó cuerdas, de modo que por la longitud que se introduzca en el agua se conozca que están en disposicion horizontal; y luego que se hallen en contacto con algunos puntos de los machones ya formados, ó que no disten mucho de estos, se echan materias fundidas hácia los estremos, que se procurará que tengan algunos agujeros ó muchas desigualdades para que traben bien las materias fundidas, y formen una sola masa sólida como se representa en la misma figura 67 por *fg*, que se supone dentro del agua, y por la *hk* que suponemos ya fuera.

126 Para formar una idéa de la resistencia estraordinaria de este género de obras, supongamos, que la parte de roca artificial que formemos, tenga para mayor sencillez una base cuadrada, cuyo lado sea b, y que su altura ó grueso sea c; la cara que, en cualquier sentido, se opondrá al choque del agua, tendrá bc por superficie. Supongamos que el peso específico de la masa que compone las materias fundidas sea solo 6. Como las piedras, cascajo, arena, &c. que se unirán con ellas, formando brecha ó pudinga, tienen menor peso específico, resulta que el *mínimo* peso específico de la brecha ó pudinga artificial, lo podrémos suponer como 4,8. Esta roca, aun en el caso de no formar parte con el suelo, y que estuviese separada de él, podrá resistir (59) al impulso de una velocidad de agua que fuese la debida á la altura $H=\frac{b^2}{c}(P-p)$. Si suponemos uno de los casos ménos favorables, á saber, que sea $b=7$ y $c=14$, como $P=4{,}8$ y $p=1$, será $H=3{,}5.3{,}8=13{,}3$.

Esta altura produciría (§ 50 Mecán. Práct.) una velocidad de

unos 30 pies esp. por segundo; y como la velocidad mayor del agua, que se ha conocido hasta ahora, es la del torrente originado por la fusion de nieves, á causa de un volcan (tabla del § 59), que no llega á 30 pies esp., resulta que, aun en este caso, nuestra construccion proporciona una resistencia superior.

Pero, por lo general, la superficie que se presenta al choque del agua, no siendo plana, sinó curva, no recibe tanta impresion por parte del choque; y en efecto, se sabe por los esperimentos de Neuton (§ 268 Mec. Práct.) que la esfera chocada por un fluido sufre una resistencia igual á la mitad que sufriría un círculo máximo. Aquí no se puede suponer que sea esférica, pero podrémos reputar aproximadamente, que la resistencia que presente la superficie curva, sea solo las dos terceras partes de la que presentará el plano: lo cual ya da una ventaja de mucha consideracion.

Todo esto es en el supuesto de que fuese una masa aislada y desprendida; mas como por el entrelazamiento con las partes del terreno firme, compone con él una sola masa sólida, resulta entónces una resistencia tan enorme, de que no se tiene una suficiente idéa; por lo que, en punto á la solidez, casi puede asegurarse una resistencia mas de cien veces mayor que la necesaria.

127 En cuanto á la duracion, se puede asegurar sin temor de equivocarse, que será mayor que la de las rocas inmediatas; pues estas se suelen descomponer por el contacto con la atmósfera; y nuestra roca artificial, debajo del agua, está esenta de este riesgo; y ademas, no hay que temer que el agua la disuelva, ni ablande, ni derrita, ni resulte ninguno de los inconvenientes de las otras.

128 Cuanto acabamos de manifestar es en el caso mas desventajoso, que es el de ser de fango el terreno. Pero esto no es lo mas frecuente; y por imperiosas que sean las circunstancias, siempre dejan en la eleccion del sitio, donde se ha de ejecutar la obra, una cierta latitud que permite construirla en parages ménos desventajosos; pero si aun en el caso peor, que puede ocurrir, acabamos de ver que nuestro método puede ser muy útil, conveniente y económico, se debe inferir que lo será con mayor razon en todos los demas.

129 Despues del terreno fangoso, el que se presenta mas desfavorable es el compuesto de arena suelta, como representa la (fig. 68). En este caso, pueden ocurrir dos circunstancias, á saber: que el terreno sea casi horizontal ó que el declive sea demasiado, y se deba temer que el piso, suelo ó fondo vaya socavándose.

Cuando no se tema que el fondo vaya socavándose, no hay mas

que fundar por el método anterior; las materias fundidas penetrarán hasta que no encuentren obstáculo ó lleguen á enfriarse ó coagularse; y como no tienen ahora que atravesar la capa de fango, penetrarán mas dichas materias fundidas y se esperramarán en mayor estension, ocupando las cavidades que dejen entre sí las arenas, de modo que resultará una especie de cepa como se representa en *mno* en dicha (fig. 68).

En este caso, podrá suceder que las materias fundidas no penetren hasta el terreno sólido, si este se halla muy profundo, como se indica en *fgh*; pero entónces el peso de la masa de brecha ó pudinga, que descansa sobre las arenas sueltas, las comprimirá de tal modo, que las convertirá en terreno sólido.

130 La otra circunstancia, que puede verificarse, es el recelar que el fondo se pueda ir socavando: en este caso, está reducido á estender mas en todos sentidos la roca artificial, que se forme en el fondo para impedir que el socavamiento llegue á las inmediaciones de la pila, machon ó cualquiera otra obra que se construya. Y para mayor seguridad en un principio, y hasta que los hechos comprueben que no hay necesidad, como á mí me lo parece, se podrá practicar uno de los dos métodos siguientes, ó algun otro análogo de los muchos que ocurran á los constructores.

El primer método que propondrémos, por separarse ménos de la construccion actual, y ofrecer mayor facilidad en la ejecucion al presente, es el de introducir en el suelo una especie de pilotes, bien sean metálicos, bien se compongan de piezas de piedra, á manera de listones, fijas á la punta metálica de un pilote. Su forma podrá ser ó prismática ó circular, con aberturas rectangulares en los lados, y cuya longitud sea proporcionada á las circunstancias locales. Al clavar estos pilotes, llevarán en las ranuras laterales una pieza metálica, ó de madera, para impedir que, al penetrar en el terreno, se introduzcan las arenas pequeñas en lo interior, y quede llena la cavidad. Se clavarán á fuerza de mazo, en lo que no habrá gran dificultad: 1.° por suponerse el terreno movedizo, y 2.° por ser los pilotes de cortas dimensiones, pues bastará por lo general que tengan de 4 á 6 pulgadas de lado, que la ranura sea de una pulgada, y la longitud proporcionada á las localidades.

El pilote, sin las piezas que han de entrar en las ranuras, presenta el aspecto de la (fig. 69), y con las piezas que tapen dichas ranuras, mientras se clavan, presentará el de la (fig. 70).

Introducido el pilote en la arena, y echadas las materias fundi-

das, estas saldrán por las ranuras laterales; se estenderán por todos los espacios que dejen entre sí las arenas; y al coagularse, formarán una brecha ó pudinga en la forma que representa la (fig. 71). Y poniendo los pilotes mas ó ménos aproximados, segun las circunstancias, se tendrá una roca sólida, sobre la cual se continuará por los procedimientos anteriormente esplicados.

Como suponemos que hay una cierta capa de agua sobre la arena, para clavar estos pilotes, será necesario empalmarlos introduciendo en ellos otra pieza de madera, como representa la (fig. 72), para clavarlo hasta que la cabeza del pilote llegue á enrasar con el fondo; entónces se saca, tirando por la parte superior; y al mismo tiempo se podrían sacar las piezas que tapan las ranuras, asegurándolas á la pieza empalmada.

Para este caso, conviene tambien que las materias fundidas estén cargadas de sustancias metálicas, y que conserven su liquidez el mayor tiempo posible, á fin de que se estiendan mas, y cada pilote venga á ser una cepa del mayor tamaño de que sea susceptible. En la superficie del terreno, se formará una roca artificial en cierta estension, de la magnitud que se juzgue oportuna; la cual, enlazada con las cepas parciales de estos pilotes, formará una planta de roca sólida que podrá resistir á todos los esfuerzos que se quieran, sin temer los riesgos de las demas construcciones.

El segundo procedimiento, que se podrá adoptar, es echar lo que los Militares llaman abrojos (fig. 73) hechos de materias fundidas; estos sin mas que arrojarlos en línea recta donde convenga, quedarán siempre con una punta hácia arriba: se echarán despues materias fundidas; las cuales formarán con ellos y lo demas del suelo, una masa sólida sobre que se podrá continuar por los métodos ya espuestos. Otros mil recursos se ofrecerán á los Ingenieros, Arquitectos y demas constructores, segun las localidades, para no recelar acerca de la solidez; pero yo repito, que el recurrir á estos dos arbitrios, ni á otros semejantes, en manera alguna puede ser indispensable; y que cualquiera que sea la situacion del fondo, &c., quedará todo el edificio con la competente seguridad, sin mas que estender á mayor distancia de la verdadera obra, la roca artificial, segun los riesgos que se teman por parte de los socavamientos.

131 Si se tratase de edificar sobre arena, pero que encima no hubiese agua, como representa la (fig. 74), en este caso, bastaría en mi concepto echar materias fundidas sobre las arenas; las cuales ó penetrarían hasta el terreno firme como se indica en *mno* ó solo pe-

netrarán hasta una cierta profundidad, como se representa en la misma figura por *fgh*; y cargando despues sobre esta parte todo el peso de la roca artificial y obra que se ejecute, de tal modo comprimirán la arena suelta que haya en la parte inferior á *fgh*, que por ligero que sea el terreno, lo vendrán á consolidar.

En este caso podrá ser muy conveniente el abrir un hoyo ó zanja donde se vayan á echar las materias fundidas, para que penetren mas; y con este mismo objeto se hará que caigan de una competente altura para que, adquiriendo mayor velocidad, tengan mas fuerza para introducirse por las arenas: tambien podrá usarse en este caso, para tranquilidad de los pusilánimes, de pilotes ó abrojos segun hemos manifestado ántes.

132 Cuando no se recele que el fondo vaya disminuyendo, pues lo que sucede generalmente es que el suelo de las aguas se va siempre elevando, como se verifica en el mar Mediterráneo por las observaciones directas que hemos referido en el libro 2.º, y se concibe fácilmente en todo el Océano por el depósito que acarrean en sus avenidas los rios, y como acontece generalmente en estos, pues su lecho siempre va subiendo, hay suficiente con una cantidad menor de materias fundidas sobre el fondo; pues bastará formar una masa sólida de brecha ó pudinga, mas ancha, pero ménos gruesa, y arreglada siempre á las dimensiones que convengan al objeto de la obra. Por ejemplo, si el cimiento de esta debiese ser de la longitud *AB* (fig. 75), se echarían materias fundidas por una estension algo mas considerable que la que ha de llevar el verdadero cimiento, como por ejemplo hasta *DC*, aunque sea superficial y de muy poco grueso; sobre ella se elevará luego el cimiento, pila ó machon que se ha dicho, y representa la espresada figura.

Con el trascurso del tiempo vendrán mas arenas elevando el suelo, como por ejemplo hasta *FG*, las cuales, así como el peso del agua que representamos hasta *LM* cargarán sobre la parte de roca artificial que escede á los lados de los cimientos; y esta presion contribuye á que la obra permanezca firme. Aquí lo mas que podrá suceder, es que se filtren las aguas por debajo de esta roca, pero no por esto vacilará la solidez de la obra; y dicha filtracion no causará ningun inconveniente, así como no lo causan las filtraciones por debajo de las otras rocas naturales, ó á través de las mismas rocas cuando son calcáreas.

133 Si el terreno fuese firme, echando materias fundidas sobre él, se consolidará con ellas sin dificultad. Entónces, despues de los

Como, en general, conviene principiar á formar la roca artificial ántes del tajamar, una cantidad determinada segun las localidades, y concluir tambien por la parte inferior un poco mas abajo que el tajamar, con una cierta parte de roca tambien artificial, debemos observar, que en el caso presente parece muy bastante el que se principie la espresada roca de brecha ó pudinga artificial como á una distancia tres veces mayor que el ancho de la pila ó machon; y como esta la suponemos de 5 pies, deberá empezar á unos 15 pies de distancia ántes de los machones. En su consecuencia, formarémos por delante del machon un triángulo isósceles, cuya base sea 5 pies y la altura de 15 segun se ve (fig. 76).

El método que, segun la localidad del espresado puente largo, me parece mas adecuado para formar sus cimientos, conciliando todas las ventajas de solidéz, economía &c. &c. es el espuesto (§ 129). Por lo que, representando por *abkl* el rectángulo del machon, y por *aeb*, *ltk* los triángulos anteriores y posteriores, estaba reducido á formar en toda esta estension exagonal una brecha ó pudinga artificial.

Como en el espresado parage, mucha parte de la obra se haría en seco, y donde hubiese agua, esta no será tanta que impida á los hombres escavar ó remover el terreno con picos, barras &c., se podría principiar tambien escavando por la punta *e*, algun tanto, ó conmoviendo un poco el terreno, para que las materias fundidas penetren mas; y si por la parte superior quedasen demasiadas materias fundidas, se echarán encima piedras ó cascajo del que se haya separado para rellenar mas con ménos materias fundidas, procurando que el todo quede al mismo nivel sobre poco mas ó ménos que el suelo por donde pasan las aguas. Se continuará por este procedimiento hasta tener el piso de todo el machon con las espresadas partes triangulares anteriores y posteriores al espresado nivel del suelo del rio por donde corre el agua: y en toda la longitud del machon y la de los tajamares, se procurará que la roca artificial tenga como un pie mas de ancho á cada lado para precaver los socavamientos; pero procurando que dicha roca artificial esté bien al nivel del suelo para que sirva de zócalo ó de retallo al machon, sin presentar los inconvenientes que tienen los zócalos ó retallos ordinarios de disminuir la salida del agua.

Podría usarse del método de echar materias fundidas sin ninguna otra preparacion que la de nivelar todo el parage para que todas las partes se hallen al nivel del fondo de las aguas.

El método de los abrojos aquí ni en ninguna otra ocasion habia

necesidad de emplearlo; mas por via de comparacion, podrían hacerse en algunos de los arcos por donde pasa el agua; pero solo en la parte del machon y tajamares, que es donde se ha de elevar la fábrica, pues en las partes triangulares anteriores y posteriores al puente no debiéndose alzar nada el suelo, no convienen los abrojos de ningun modo.

El empléo de los pilotes tampoco es indispensable bajo ningun aspecto. Yo los he propuesto, no por necesidad, ni por conveniencia, sinó por tranquilidad de los pusilánimes; y porque no separándose tanto esta construccion del sistema actual, podrá esto acaso facilitar el que este importante asunto se trate de realizar y no se convierta en una sentina de disputas y altercados, perjudiciales siempre al progreso de las luces, á la teórica, y práctica, y á la opinion de los que promueven semejantes cuestiones.

Y por si se prefiriese su empléo, he aquí el modo con que se podrá proceder para su uso. Como la mayor parte del suelo está en seco, no hay necesidad de ninguna preparacion para clavarlos. Y como aun donde hay agua, será como unos 2 ó 3 pies lo mas, que no impide el que los operarios en verano trabajen algun tiempo dentro del agua, se podrán clavar como en seco hasta que su cabeza esté al nivel del agua; en cuyo caso, se introducirá en la parte hueca del pilote otra sólida de igual capacidad con un resalto como representa la (fig. 72) y se golpeará hasta que la cabeza del pilote se halle al nivel del suelo. Por lo que clavarémos en *e* un pilote de los descritos (130) y que en este caso bastará que tenga unos 6 pies de largo, cuatro ó cinco pulgadas de lado, y cuyas ranuras sean como de 1 pulgada; y encima echarémos materias fundidas, para que se forme una brecha ó pudinga de esta profundidad y de la mayor estension lateral. A la distancia de 2 pies mas cerca del tajamar, se clavará otro pilote en la direccion de la altura del triángulo, de la misma profundidad, pero que si hubiese disposicion podría tener un poco mas de grueso, ó ser mas grandes las ranuras ó agujeros para que la cepa sea mayor.

A otros dos pies se pondrá otro que sea mayor que el anterior ó que lo sean sus ranuras. A otros dos pies se pondrán ya dos pilotes como el primero, distando entre sí solo pie y medio; á otros dos pies se colocarán otros dos pilotes que sean algo mayores que los primeros; á otros dos pies se clavarán otros dos pilotes, que ó ellos ó sus ranuras sean algo mayores que los anteriores. A otros dos pies se pondrán ya tres pilotes como los primeros; á otros



dos pies se clavarán tres como los segundos; y á otros dos pies se clavarán cuatro pilotes como los primeros, y lo mismo se practicará en toda la longitud del machon. Por la parte superior ó cabezas de estos pilotes metálicos ó de piedra, se echarán materias fundidas para que formen una sola masa de brecha ó pudinga con ellos y el cascajo, guijo ó arena del fondo en el espacio que comprende dicho triángulo. En toda la superficie *abkl* de la pila se podrán colocar los cuatro órdenes de pilotes regulares, que señalamos en la figura de dos en dos pies, poniendo uno en cada orilla, y los otros dos en el medio, equidistantes todos entre sí. Y para mayor seguridad, se pondrá otro órden de pilotes á cada lado con la circunstancia de estar colocados en los huecos de los otros, como representa la misma (fig. 76), para que haya al nivel del suelo una especie de meseta, que haga oficios de zócalo ó retallo sin tener sus inconvenientes de presentar un obstáculo al paso del agua. Sobre todo esto se echarán materias fundidas, y se procederá como hemos dicho anteriormente hasta tener ya la obra fuera del agua.

Para continuar desde fuera del líquido hasta el punto de los arranques de los arcos, se procederá del modo siguiente. Se elegirán trozos de piedra berroqueña ó granito de unos cuatro pies y medio de ancho y las demas dimensiones arbitrarias segun las circunstancias; pero estas piezas no se labrarán, sinó en tosco, segun vienen de la cantera: se les hará uno ó dos taladros, ó agugeros de arriba abajo, á manera de barrenos, y se dispondrá el que se coloquen guardando sus caras la misma posicion con que la piedra está en la cantera, porque de este modo resiste mas.

Se cuidará de que la superficie inferior no sea plana, sinó que por donde tiene los taladros sobresalga mas, á fin de que, colocada en la disposicion conveniente, y echando materias fundidas por la parte superior de estos taladros, dichas materias, al salir por la parte inferior del agujero desalojen todo el aire y salga este por los costados, á fin de que la roca sólida, que resulte, no contenga ninguna oquedad.

Se colocarán estas piedras por medio de cuñas de metal ó de piedra; y luego se pondrá un molde de tablas, pero que por lo interior tenga una capa de aquella arena ó tierra que usan los fundidores, á fin de que las materias fundidas no se peguen á la tabla, y resulte la superficie esterior bien lisa. Se echan materias fundidas por los agujeros, las cuales penetrarán hasta el fondo y se desparramarán hácia todos lados, y quedará lleno el agujero. Despues se

echarán materias fundidas por los costados hasta que rellenen toda la cavidad del molde. De este modo quedará toda la superficie esterior cubierta de una capa de fundicion, y el núcleo será de piedra berroqueña ó granito. El objeto de esta disposicion es, que la piedra berroqueña es de mucha resistencia; y mientras mayor sea la pieza, resiste mas, y se ahorran mas materias fundidas. Y con tenerla resguardada del contacto del aire y de la humedad, se la preserva de su descomposicion.

136 Llegada la obra á la altura de los arranques de los arcos, para la formacion de estos, podrá usarse del método ordinario; pero mi nueva construccion presenta la ocasion ventajosa de realizar la hipótesis de *La-Híre*, de que todas las dovelas estén asentadas y unidas con estas materias fundidas, de tal modo que formen entre sí una masa sólida, con tal trabazon, que impidiendo el que se resbalen unas sobre otras, resulte el arco como si fuese de una sola pieza. En este caso, no habrá empuge oblícuo contra los machones, y resultaría una construccion conforme con la esperiencia; porque cuando los arcos se caen, es en general por faltar á los machones la competente fuerza para resistir la presion oblícua.

137 Efectivamente, esta construccion mia podría tambien reemplazar á la ordinaria, usando de materias fundidas, en vez de mezcla, en toda la obra del puente. Lo cual traería, ademas de las ventajas por parte de la solidez, mucha economía por la siguiente razon. No había necesidad de labrar las dovelas, sinó por el lado inferior para que ajustasen y amoldasen bien sobre la cimbra; y echando materias fundidas entre dos dovelas, miéntras mas deigualdades tengan estas en sus superficies, será mejor; pues que trabarán con mas exactitud las materias fundidas en las piedras y formarán una sola masa sólida.

Para este efecto, deberían elegirse materias fundidas que fuesen tales, que despues no formasen una liga agria, sinó que tuviese una cierta ductilidad para resistir á las conmociones que causan los carruages. Entónces el grueso de la bóveda por la parte superior, esto es, por la clave, bastará que sea muy pequeño. Formando el piso superior de losas grandes, de las que se sacan en lajas de las canteras apizarradas, y uniendo con materias fundidas, y aun con grapas si se quiere, las unas con las otras, y poniendo planchas de fierro ó losas muy lisas para el tránsito de las ruedas, no hay nada que recelar en cuanto á la solidez. Pero aun sería mejor que todo, para evitar las conmociones del puente, el que su piso superior se cons-

truyese como los caminos ordinarios; y si se hiciese uso de escorias de fierro, en vez de cascajo ó guijo, sería lo mejor de todo.

Por la parte de arriba del puente y por la parte de abajo, se pondrá el tajamar á gusto del Ingeniero ó Arquitecto, dando el grueso de los antepechos y la escarpa que mejor les parezca. Segun mi opinion, el tajamar anterior deberá ser un triángulo equilátero mistilíneo como representamos por *aib* en la (fig. 76), y el posterior un triángulo isósceles en que los lados iguales fueran duplos del lado desigual, como representamos por *lsk*.

138 El objeto de poner las partes triangulares *aeb*, *ltk* ántes y despues del puente, es hacerle mas resistente, de un modo tan estraordinario que no se puede concebir haya fuerza procedente del agua capaz de destruirle. En efecto, cuando en un muro ó machon, que se compone de albañilería ó cantería, una fuerza *P* viene á chocar al sillar *A* (fig. 77), si la parte de mezcla de la juntura *mno* no puede resistir á dicho empuge, y el sillar *A* no está sostenido suficientemente por detras, dicho sillar *A* girará al rededor del punto *n*, y será trastornado, destruido y conducido por la fuerza del agua, independientemente de la resistencia de la parte inferior de todo el muro. De manera, que la solidez de este, cualquiera que pueda ser en su parte inferior, no impedirá el desprendimiento del sillar *A* en las circunstancias dichas. Por consiguiente, en la construccion ordinaria, cuando un madero por ejemplo, conducido por el agua viene á chocar en *a*, si su fuerza impulsiva es mayor (58) que el valor $\frac{1}{2}b.(P-p)abc$, que correspondiese al sillar segun sus dimensiones y peso específico, junto con el valor numérico que espresase la trabazon que tiene la mezcla, girará el sillar al rededor del punto *n* y será destruido, aunque todo lo demas del machon y de los cimientos tengan una resistencia indestructible.

Por el contrario, en nuestra construccion, usando de materias fundidas en vez de mezcla, el sillar *A* queda tan adherido á lo demas del machon, que es mas fácil romper el mismo sillar, que desprenderle de sus inmediatos, por tener mas resistencia las materias fundidas de las junturas, que la misma piedra. En este caso, el efecto de la potencia *P* no podrá ser otro que el de hacer girar todo el machon sobre su punto de apoyo *G*, si no hubiese por la parte inferior cimiento; pero habiéndole, y llegando hasta *C* por ejemplo, el efecto de dicha potencia *P* será el de hacer girar toda la masa de roca artificial y todo el peso del agua que se halla sobre la parte *BF* al rededor del punto *D*. Luego la fuerza *P*, aplicada en *A*, para

causar algun esfuerzo contra el machon, debería ser capaz de hacer girar al rededor del punto *D* toda la masa sólida *ABFEDCGH*, y ademas de levantar toda el agua que reposase sobre el triángulo *abe* (fig. 76), cuyo perfil representa la *BF* en la (fig. 77); y sin detenerme á formalizar el cálculo del valor que debería tener esta potencia *P*, se concibe fácilmente que no hay probabilidad de que exista jamas un caso en la naturaleza en que haya riesgo de que, aun suponiendo que el agua arrastre árboles ó cualesquiera otras materias, pueda temerse que se produzca una fuerza capaz de imprimir el mas leve movimiento, como se convencerá el que efectúe el cálculo en toda hipótesis posible.

139 Si en la construccion que suponemos se encontrase alguna olla, de las que dice Taramas hallaron en la construccion del espresado puente largo, y que se tragaron 800 pilotes de á 46 pies de longitud cada uno, se procederá por el método espuesto (122 y siguientes).

Si se adoptase, para la construccion del arco del puente, el hacer uso de materias fundidas, entónces la consideracion que hemos hecho de la fuerza necesaria para trastornar solo la parte de un machon, debería considerarse como capaz de trastornar contra los puntos de apoyo *D* de los estremos inferiores de las cepas de los tajamares de los machones por la parte de abajo, toda la masa del puente, inclusos los estribos ó cabezas; y si no se concebía fuerza en la naturaleza, producida por el agua, capaz de trastornar solo mi machon, con ménos razon se podrá concebir que existe fuerza alguna originada por dicho líquido, capaz de hacer girar todo el puente, que debe considerarse como una masa veinte, treinta, &c., veces mayor que la considerada en un solo machon. Si se llegase á construir un puente por este sistema que yo propongo, y se comparasen los gastos que originase con los del espresado puente largo sobre el Jarama, se notaría la grande economía por mi sistema, aun ahora en los principios, que ni tenemos el carbon de piedra á nuestra disposicion, ni poseemos todavía las simplicaciones importantes que el uso y la práctica enseñarán.

140 En esta construccion, que yo propongo, se verifica la circunstancia de que, aun cuando por algun accidente inesperado, faltase la obra en algun punto, como todo formaba una parte sólida, nada se perjudicaría al puente ú obra de que se tratase. Y aun cuando quisiéramos suponer algun resentimiento, este podría ser de dos especies, ó causar flexion en algunos parages, ú originar una rotura.

Si era flexion, nada importaba; la obra quedaría formando su servicio como si nada hubiese padecido. Si fuese rompimiento, es decir, que por algun parage sus partes perdiesen la continuidad y quedase partida en dos ó mas, estaba reducida la compostura á rellenar las rajas, grietas ó espacios vacíos que resultasen, con materias fundidas, y quedaba otra vez en pleno servicio, como si tal cosa hubiese acontecido, debiendo esperarse estos casos de composturas muy remotamente. Y si se quisiese suponer que la rotura ó roturas eran muy grandes, para rellenarlo todo con materias fundidas, entónces se usaría tambien de piedras que hiciesen el oficio de puente uniendo el un estremo de la rotura con el otro, es decir, que las partes sólidas separadas podrían servir de pilas, ó estribos para el nuevo arco que ocupase el espacio vacío que resultase.

Por el contrario, en el puente largo, segun resulta en el dia, sería curioso y digno de la mayor atencion averiguar las composturas que ha exigido y lo que en él se ha gastado, tanto para su construccion como para su conservacion y reparacion, y los daños que ha originado con sus inundaciones en los terrenos inmediatos. Por mi parte, puedo asegurar que en las repetidas veces que he pasado por dicho puente, siempre he visto que estaban haciendo en él composturas de consideracion.

141 La figura 78 representa el espresado puente largo segun existe, y la hemos copiado de la obra de Taramas; la fig. 79 representa que, con arreglo á mis principios, se debería ejecutar en aquella localidad; y sin mas que fijar la vista en ambas figuras, se notará que hasta nuestro espíritu se abruma con la pesadez de la fig. 78, que parece construida exprofeso para impedir el paso del agua, cuando en la nuestra apenas es sensible la diminucion de la salida de las aguas. Y como los estragos de las inundaciones que se originan en la proximidad de los puentes, provienen de la diminucion de salida que ofrecen los machones, resulta que, en el puente construido por mi sistema, los perjuicios de las inundaciones serán casi nulos, cuando son de tanta consideracion en la actualidad.

Uso de mi nuevo método en la construccion de las presas, azudes, ataguías, cascadas, &c.

142 Si aun se necesitasen mas razones para comprobar el sólido fundamento con que yo no he perdido jamas de vista el escogitar mi sistema, bastará recordar que en la presa de Guadarrama y las cuatro leguas de canal que están construidas y que llegan hasta muy cerca de la casa del Campo, se gastaron 13 millones. La presa es

colosal; y en prueba de lo vicioso de la construccion actual de obras hidráulicas, baste decir, que dicha presa se arruinó por un parage, estando á los dos tercios de su altura, ántes de echarle el agua: esto parecerá increible; pero es un hecho que yo tengo reconocido, y de que hablo en la pág. 492 del Mercurio de octubre de 1824.

Una presa como aquella, por mi nueva construccion, cuando ya se tuviese la práctica necesaria y el combustible, &c., no podría costar un millon de rs.; y aun cuando supusiéramos que fuese en un principio, es decir, que hoy se tratase de ejecutar sin práctica y sin combustible adecuado, &c. no llegaría su importe á la 3.ª ó 4.ª parte de lo que costó al construirse. Sobre este punto debo manifestar, que las gentes, y aun varios facultativos, se hallan generalmente en un error acerca de la resistencia de los materiales. Y para comprobar con hechos prácticos á cuan poco podría reducirse el grueso de las chapas metálicas ó de piedra con que se podría hacer la presa, embutidas en piedras ó chapas metálicas de mayor grueso, basta observar que la altura de la presa debía ser como de unas 100 varas, que equivalen á 300 pies. Ahora bien, lo que se llama una presion atmosférica ó la fuerza de la presion equivalente á una atmósfera es la de 0,76 metros de mercurio, que adoptando el peso específico de este metal de 13,568 respecto del agua como hemos hecho (§ 538 Mec.) equivale á la de una columna de agua de 10,3 metros ó de 37 pies españoles: y siendo 300 pies la altura de la presa equivale á 8 veces la altura de 37 pies, ó á la presion de ocho atmósferas, como se acostumbra decir.

Mr. Tredgold, en el 2.º ejemplo del § 529 de su obra intitulada *Tratado de las máquinas de vapor* *, encuentra que se debe dar 2,4 centímetros de grueso ó una pulgada española de espesor á una caldera de fundicion de fierro en que el diámetro interior fuese de 90 centímetros y la fuerza del vapor 5 atmósferas. Como 5 atmósferas equivalen á una columna de agua de 185 pies de altura, y aquí eran necesarios 300, faltan 115; y suponiendo placas de pulgada y media ó dos pulgadas españolas de grueso y de una vara en cuadro no hay duda que resistirán.

143 Calculemos la presion de una vara cuadrada á 100 varas de profundidad de agua. Se tendrá que será igual (§ 511 Mec.) al peso de una columna de agua de una vara cuadrada de base y una

* Véase la pág. 345 de la traduccion de esta obra por don Gerónimo de la Escosura.

altura de 100 varas ménos media vara, por lo que dista el centro de gravedad de la superficie del nivel, pero lo supondrémos aun para mayor seguridad de las mismas 100 varas, y tendrémos que el peso qne debe sostener será el de 100 varas cúbicas de agua. La vara cúbica tiene 27 pies cúbicos, luego equivaldrá al peso de 2700 pies cúbicos de agua; y como el pie cúbico de agua, á la temperatura media y la presion media en España, le podemos suponer, en virtud de lo espuesto (§ 241 Mec. Práct.), de unas 47 libras españolas, resulta que será equivalente á 1269 quintales.

No hago ningun cálculo particular; porque la resistencia de los materiales formará el objeto especial de otra obra mia: y sin tomar este asunto en consideracion, atendiendo á la confusion que resulta en los Autores, por la diversidad de medidas, y aun del modo de hacer las evaluaciones, acaso resultaría mayor oscuridad. Yo desearía por otra parte que las circunstancias me proporcionasen hacer algunos esperimentos sobre materiales de España. Pero estoy seguro de que, combinando el tamaño de los pequeños cuadros y el grueso, &c., se podrían hacer este género de obras con una economía muy estraordinaria.

144 Ademas, si por la parte inferior de donde viene el agua se echase tierra simplemente, como sería muy oportuno para hacer camino, &c., se podría conciliar el que la presion del líquido sobre la presa se equilibrase con la presion ó empuge de las tierras por el lado contrario, en cuyo caso, se podría reducir el grueso hasta el de una simple chapa de plomo tan delgada como se quisiese. Mas no obstante, para no aventurar jamas la seguridad de la obra, convendrá calcular los gruesos de las partes, como si el empuge de las tierras fuese nulo.

145 Estos trozos de piedra de una vara cuadrada se podrán manejar con facilidad; y su colocacion no sería penosa, pues estaba reducida la dificultad á encajarlas y soldarlas con otras piezas, á manera de los tableros de las puertas y ventanas, asegurándolas en los peinazos y cruceros; y despues afirmar estos peinazos y cruceros con otros de mayores dimensiones de distancia en distancia; y luego con otros trasversales para asegurar estos, y que todos se afirmasen entre sí recíprocamente. Si los tableros se hiciesen rectangulares, acaso se haría mas fácilmente la operacion, pues correría con mas facilidad la soldadura. Pero conviene que sean cuadrados, porque de este modo hay ménos soldaduras que hacer, á causa de que las figuras regulares, en igualdad de superficie (§ 537 I T. E.) tienen ménor perímetro.

De trecho en trecho se debería disminuir el grueso á proporcion que fuese disminuyendo la altura del agua: y una presa de esta naturaleza estaría representada por la (fig. 80) vista por la parte de abajo. La (fig. 81) representa su planta; y el corte se halla representado por la (fig. 82).

Una presa de esta naturaleza, si llegaba el caso de romperse, no causaría tanto daño como las otras; pues si despues de hecha, toda ella ó una parte suya, de repente caía ó se desprendía, no podría ser arrastrada por el agua, por componer una masa sólida, de un peso y magnitud que el agua no podría moverla; y solo resultaría el inconveniente que el agua pudiese originar, y no el que provendría de llevar el agua arrastrando los peñascos, que son los que causarían mas daño, como sucedió al principio de este siglo, cuando se verificó el rompimiento del pantano de Lorca *.

En nuestra construccion, si por algun accidente resultase alguna filtracion, se podría evitar dirigiendo allí, sea por la parte interior, sea por la parte esterior, la competente materia fundida por alguna reguera, tubo, &c.; y aun habrá casos en que la materia fundida en un simple candil, pueda ser suficiente para tapar algunas filtraciones, rezumos ó chisquetazos.

146 En prueba de que los materiales resisten mas de lo que se crée, debo advertir, que una de las obras que examiné con mayor detencion en Francia sobre este particular, fué el depósito de agua llamado de *Cuson*, que sirve para alimentar el canal de Givors, entre Saint-Etienne y Lyon. El grueso total del muro es de 344 pies franceses; su altura total de 100, sin contar los cimientos que tenían 40 pies de profundidad. El agua sube hasta 97 pies; el largo de la presa es de unos 700 pies. Por la parte anterior, es decir, por la que sostiene el agua, no tenía rampa ni escarpa; la de Guadarrama sí la tiene. Pues para sostener una altura de agua de 97 pies, era suficiente una tablita como de una pulgada de grueso y un pie en cuadro, que hacía como de compuerta en la parte inferior del depósito.

147 Yo he verificado el hecho siguiente. He llenado de mercurio un tubo de mas de 4 líneas de diámetro interior, un tercio de línea de grueso y mas de 3 pies españoles de largo; y ha resisti-

* Este funesto acontecimiento se verificó el 30 de abril de 1802 á las dos y media de la tarde; llegó la inundacion al pueblo, que distaba de la presa como unas dos leguas, á las cuatro de la tarde. Causó grandes estragos, pues derribó las casas de calles enteras, inutilizó terrenos, arrancó plantíos, ahogó un considerable número de personas, &c., &c. El padre de mi condiscípulo y amigo don José Muso y Valiente sufrió mas de medio millon de pérdida por esta inundacion.

do á esta presion: y como el peso específico del mercurio es 13,568 veces mayor que el del agua, resulta que el mismo tubo hubiera resistido á una presion de agua de mas de 40 pies: esto es que dicho tubo de vidrio no se hubiera roto si hubiese estado lleno de agua hasta la altura 40,7 pies; esto es teniendo un grueso de $\frac{1}{3}$ de línea; luego si le supusiéramos con un grueso de 5 líneas solamente, resistiría infaliblemente á una columna de agua de mas de 600 pies. Y como las lajas de piedras resisten mucho mas que el cristal, ó vidrio, no habrá dificultad en concebir que una laja de piedra de una vara en cuadro y 3 ó 4 pulgadas de grueso, resistirían á la presion de una columna de agua de quinientos ó seiscientos pies. Pero si aun se quisiese no aventurar nada, con darles 7 ú 8 pulgadas, un pie ó aun dos pies, hasta el mas pusilánime se tranquilizará en virtud del esperimento citado que cada uno puede verificar. Y de este grueso de 1 á 2 pies, que por nuestro sistema es mucho mas que suficiente, á 344 pies que tiene de grueso el depósito del espresado canal de Givors, y á mas de 500 pies, que tendrá la presa de Guadarrama, hay una diferencia muy considerable; y ademas la mia no se caerá, como ha sucedido á la de Guadarrama.

148 Pasemos á indicar algunos detalles de construccion de las presas por mi sistema. A dos especies se pueden reducir las presas; unas atajan la corriente de todo punto para hacer que las aguas vayan por un parage determinado, como canal, acequia &c: y otras no vienen á ser mas que un obstáculo para que rebalsen y se eleven las aguas, rebosando por encima.

Ocupémonos ante todas cosas de las primeras. Cualquiera que sea la posicion, que haya de tener la presa, se afirmará el suelo por los métodos establecidos anteriormente, procurando estender algo la solidificacion del terreno por la brecha ó pudinga artificial, tanto mas arriba como mas abajo del parage por donde haya de pasar la presa. Lo primero, que se ha de procurar, es elegir el parage donde han de situarse las llaves ó salidas que se dispongan para si llega el caso de tener que desaguarse la presa. En este parage, que convendrá que sea cerca de una orilla para mayor comodidad, y no en el medio como se suele practicar que es como están en la de Guadarrama y de Givors, se procurará fijar verticalmente unos cuantos pilares, sea de piedra natural, sea de materias fundidas, lo cual se puede conseguir de varios modos. Lo que se presenta mas sencillo, cuando el suelo no es bastante firme, es ántes de empezar á formar la

roca artificial, clavar en el fondo un cierto número de pilotes metálicos ó de piedra, ó los abrojos, á fin de que, al echar luego las materias fundidas, formasen una masa sólida. Despues, en la línea recta, de la estension que se juzgue necesaria, se pondrán cajones en en el fondo análogamente á lo espuesto (124), usando de buzos en caso necesario, quedando dentro de estos cajones las puntas de los abrojos ó de las barras, pilotes ó piezas que se clavaron en el suelo.

Estos cajones se deberán llenar de piedras y de barras de materias fundidas, que sobresalgan siempre algun tanto fuera del cajon. Se echarán materias fundidas, y quedará hecho todo una masa sólida. Sobre este cajon, se colocará otro, análogamente, que contenga las partes de piedra fundidas que se quedaron salientes sobre el cajon inferior. Se echarán encima materias fundidas, y se continuará de este modo hasta tener ya la obra fuera del agua por aquel solo parage, siguiendo el rio su corriente en lo demas del lecho. Estando ya la obra fuera del agua, se pondrán allí el número de llaves y de la magnitud conveniente, para el desagüe de la presa cuando se necesite. Hecho esto, y construyendo por la parte inferior de dichas llaves ó boquetes el cauce necesario para el libre paso de las aguas, pero que sea en una cierta estension de brecha ó pudinga para que en las inmediaciones no haya socavamientos, se dejarán abiertas las llaves ó cualesquiera otra disposicion que se dé, como boquete &c., y se continuará formando la roca artificial del suelo, y lo demas del principio de la presa, por el método que entre los esplicados, convenga mejor, segun las circunstancias; y se continuará hasta que se tenga la obra fuera del agua: en cuyo caso, toda el agua del rio saldrá por las llaves ó boquetes; y desde aquí ya se podrá proceder formando lo demas de la presa con lajas de piedra, chapas metálicas y materias fundidas en los términos que acabamos de esplicar (145).

Por este procedimiento, resultará que el agua quedará rebalsada toda la cantidad que la situacion de las llaves esté mas alta que el álveo antiguo del rio; pero esta porcion se irá rellenando bien pronto con el fango ó tierra que depositen las aguas; y como en una cierta estension hay roca artificial hecha con materias fundidas, esta masa con su peso contribuirá á comprimir la parte de dicha roca artificial que está anterior á la pared de la presa, lo cual cooperará para afirmar mas la obra é impedir que la presa gire sobre su parte inferior.

149 Si el objeto de la presa fuese el elevar algun tanto las aguas de un rio considerable, basta estender á todo lo ancho del rio

el procedimiento que hemos espresado (§ 122 y siguientes). Si este rio se quisiese que proporcionase la navegacion, se haría una esclusa en el parage que se juzgase mas conveniente, que por lo general conviene qne sea en uno de los lados.

150 Este género de construccion se facilitaría mucho, y con estraordinaria economía, haciendo uso de las lajas de piedra, á manera de pizarras, de que hemos hablado en el capítulo II, (§ 93) de este mismo libro, las cuales se podrían disponer de esta manera:

En primer lugar, para el fondo de los cimientos y que el agua no pasase por debajo, se podrá reducir á principiar por materias fundidas, haciendo que la brecha, ó pudinga se estienda mas ó ménos segun las circunstancias locales. Despues, se principiará colocando de distancia en distancia, una especie de pilares de piedra del grueso competente y que presentasen en su planta la forma $CBADEFGK$ (fig. 83), á fin de que los cortes ABC, DEF, se puedan hacer con sierra, que es mucho mas fácil. Despues las piedras ó lajas, sean cuadradas ó rectangulares, pero que es mejor sean cuadradas, porque, á igualdad de perímetro, tienen mayor superficie, se colocarán en planta del modo que espresa *mnop* de la misma figura; en el punto C se pondría una tabla cualquiera ó una laja de piedra ó chapa metálica con agujeros, á manera de lo espuesto (124) y tambien otra en el punto A para que sirva de molde y no se escapen las materias fundidas; se echan estas por encima, y queda hecho todo una masa. Y aunque se desperdicie algo de materia fundida, nada importa, pues dará mas solidez á la obra. Pero lo que conviene es que las materias fundidas presenten una ductilidad análoga á la del cobre, para que, en el caso de la dilatacion ó contraccion por el calor, ó por algun sacudimiento estraordinario, no se rompa la continuidad.

Poniendo detras de los estribos parciales, en donde fuese conveniente, otros estribos mayores ó contrafuertes, se podrá conseguir la solidez de toda la obra con la perfeccion que se apetezca. Para mayor seguridad, en que no haya filtraciones por el fondo y costados de la presa, se formará hácia aquellos parages un batido de arcilla ó se echará cal viva; y en el caso de reconocerse algun parage donde manase el agua en abundancia, se cerraría el boquete con materias fundidas por los métodos establecidos.

Aplicacion de mi nuevo método á la construccion de las esclusas.

151 Se podran formar los cimientos, como tenemos dicho (130)

al ménos hasta que se haya perdido el miedo; pero cuando la práctica haya confirmado, como lo hará muy en breve si se pone en ejecucion, bastará derramar simplemente materias fundidas en todo el parage que ha de ocupar la esclusa; lo que formará una especie de pudinga ó brecha. Y en caso de ser de tierra el parage, se echará de antemano cascajo ó guijo, ó se echará en el acto de derramar las materias fundidas, sirviéndose para determinar el grueso de esta capa de brecha ó pudinga, de los mismos medios que se valen en las fundiciones de fierro para determinar el grueso de las goas ó piezas de fierro colado. Podrá tambien convenir hacer algunos agujeros en el suelo, rellenarlos de piedras, echar materias fundidas, y que vengan á ejercer el mismo oficio que los pilotes. Sobre esto se establecerá el suelo formando un sólido de roca firme y permanente; despues se edificarán los espolones y demas partes de la esclusa por los métodos esplicados (142 y siguientes); y para impedir la filtracion de las aguas por debajo, bastará echar simplemente arcilla ó cal viva para que las aguas la lleven en suspension ó en disolucion; y al paso que se vayan filtrando, depositarán parte de la arcilla ó cal, la cual irá cerrando los conductos, y al cabo de poco tiempo las filtraciones se evitarán en todo ó en la parte mas considerable. Y en caso de que por algun parage se notasen filtraciones, dignas de atencion, bastará echar materias fundidas para estender mas la roca artificial á donde pueda convenir.

Nuevo método para convertir la fábrica de sillería en una masa sólida, semejante á la que resulta usando de materias fundidas.

152 Ha formado mucho el asunto de mis meditaciones el ver cómo se podría sacar partido de la presa hecha en Guadarrama; y ya en mi Memoria sobre la nivelacion del Jarama, Lozoya y Guadalix, indiqué la cantidad con que se podría habilitar no solo la rotura, sinó hasta reunir dicha obra con el canal de Manzanares, segun aparece de la pág. 492 del Mercurio de octubre de 1824. Esto era ántes de estar yo firmemente persuadido de mi nueva construccion. Mas desde que ya estoy convencido, he meditado mucho para ver el modo con que se podría enlazar la parte ya hecha con mi nueva construccion; y con este motivo he ideado un aparato, á que llamaré *soldador de piedra ó de fábrica de sillería ó cantería*, porque su uso puede servir para soldar unas piedras con otras en las obras ya construidas, como es la espresada presa, y que acaso la esperiencia dará á conocer poder servir para valerse de la construccion

ordinaria con ventajas notables, soldando todas las junturas de las piedras, y haciendo que toda la parte esterior presente una roca ó masa sólida, que impidiendo el contacto del aire y del agua con la mezcla de la obra, impida los inconvenientes que hemos manifestado (100).

153 Para dar á conocer el espresado aparato, debo recordar que en el § 425 del tomo 2.º de mi Compendio de Matemáticas, doy á conocer un nuevo *soplete* que se acababa entónces de inventar por *Newman*, con cuyo auxilio se consigue fundir instantáneamente todas las sustancias que hasta el presente se han considerado como infusibles. Se reduce, como hemos espresado en el citado parage, á condensar mucho una mezcla de 7 partes de hidrógeno en volúmen con tres de oxígeno tambien en volúmen, ó mas sencillamente, que el volúmen del hidrógeno sea dos veces y media ó solo dos veces mayor que el del oxígeno.

154 Como esta mezcla de gases es detonante, y la menor chispa que penetrase en ella, causaría una inflamacion repentina en la masa gaseosa, resultaría una esplosion terrible, que podría originar la muerte del operario, como sucedió á *Conté*; por lo que ha sido preciso tomar varias precauciones para disminuir el riesgo de la esplosion. Estos medios son el hacer que el conducto por donde sale el gas sea capilar; el poner en el tubo de comunicacion, que se halla entre el depósito y el tubo capilar de la salida, un número considerable de telas metálicas muy finas, que algunos hacen ascender como á 150, y que para mayor seguridad se pueden aumentar; y ademas á poner una capa de aceite comun entre el depósito de la mezcla gaseosa y el tubo de salida.

Las modificaciones que hay que hacer al soplete de *Newman* para que se convierta en lo que yo llamo *soldador de piedra* ó *de fábrica*, se reducen solo á darle una forma que facilite su manejo cómodamente. Por lo demas, todas las mejoras, que se hagan en dicho soplete, serán aplicables á mi soldador.

155 Sentado esto, vamos á esplicarle. *ABCD* (fig. 84) representa una caja de figura cualquiera, pero que tenga dos asas para manejarla: una se representa en *q*, y la otra debe colocarse en situacion opuesta, y un asiento regular *K* para que se sostenga por sí en el suelo cuando se la deje; y que el grueso de sus paredes resista suficientemente á la presion que se quiere hacer sufrir á la mezcla gaseosa que ha de contener, que siempre bastará con unos $\frac{2}{3}$ de línea de grueso. Por la parte superior tiene una llave *L* que pueda cerrar

ó abrir la comunicacion con el tubo *M* que termina en rosca. En esta parte se adapta un cuerpo de bomba *N*, que, ántes de llegar á su parte superior, tiene otra llave *S*, á la cual se adapta una vejiga que ha de contener la mezcla de los gases; *mm* representa la capa de aceite; *nh* un tubo metálico sumergido en el aceite, y conteniendo en la parte inferior una pieza con tuerca guarnecida con tela metálica, y en la superior hay otra tuerca, á la que está unido el tubo *rs* con su llave *t*, que en la parte *o* lleva el gran número de telas metálicas, de que hemos hablado ántes.

El uso de este aparato es el siguiente: se principia por llenar la vejiga con oxígeno é hidrógeno * de modo que el número de cuartillos ó medidas de hidrógeno sea doble ó algo mas, hasta 2 veces y media, del número de medidas de oxígeno. Hecho esto, se adapta la vejiga al cuerpo de bomba y éste á la parte *M* del aparato. Se eleva el émbolo á la parte superior y se abren las llaves *S*, *L*, estando cerrada la *t*. Se aprieta la vejiga con las manos para que pase la mezcla gaseosa al cuerpo de bomba y al aparato *ABCD*. Cuando ya no sea susceptible la vejiga de mayor compresion, se cierra la llave *S*. Entónces se baja el émbolo, el cual obliga á la mezcla, que hay en todo el cuerpo de bomba, á introducirse en el soldador. Cuando el émbolo haya llegado á la parte inferior, se cierra la llave *L*, y despues se eleva el émbolo; cuando este se halle en la parte superior, se abre la llave *S*, y se comprime la vejiga todo lo posible á fin de que pase al cuerpo de bomba la mayor cantidad de la mezcla gaseosa: en cuyo caso se cierra la llave *S*, y se abre la *L*; se vuelve á bajar el émbolo, y se procede en esta forma hasta que la vejiga no contenga ya ninguna mezcla gaseosa. En este caso se tuerce la llave *S*, y se desatornilla la vejiga para llenarla de los mismos gases y en la misma proporcion **. Cuando está llena, se vuelve á adaptar al cuerpo de bomba, y se procede en la misma forma hasta tener en el cuerpo del soldador condensada la mezcla gaseosa hasta el grado que se desée, siendo el mayor límite á que se puede aspirar, cuando se note que empiezan á cambiar de forma

* Hemos dudado si pondríamos aquí el modo de obtener estos dos gases; pero atendiendo á que se van ya multiplicando las cátedras de Química aplicada á las artes, y á que todos los boticarios hacen ya un estudio algo serio de Química, hemos resuelto omitirlo; pues en cualquier parte se hallarán personas capaces de estraer el oxígeno é hidrógeno en las cantidades que se puedan necesitar.

** Tambien omitimos los detalles de esta operacion, por las razones espresadas en la nota anterior, y por hallarse esplicada en los libros de Química.

las paredes del soldador. En cuyo caso se cierra la llave *L*, y se desatornilla el cuerpo de bomba; se abre la llave *t*; y la mezcla gaseosa sale con una fuerza proporcional á su grado de compresion por la punta *s* del tubo *rs*, que convendrá sea muy capilar; se aplica á *s* una mecha encendida para inflamar el chorro de gas, y poniendo á la punta del tubo cualesquiera sustancias, por infusibles que parezcan, como el fierro, la platina, las arcillas mas refractarias, &c., se funden casi instantáneamente. En nuestro caso, se debería agarrar el soldador y dirigir la punta de la llama á las junturas de las piedras de la fábrica hecha, y auxiliando, en caso necesario, de cuando en cuando con algun fundente, como los hojalateros hacen uso de la pez, se podrá conseguir fundir las dos aristas de las piedras que se han de unir, y la mezcla intermedia, y que todo resulte una masa sólida. Para causar mayor efecto, se podrá disponer que en la punta *s* haya mas de un agugero capilar, ya en línea recta, ya formando cruz ó círculo para fundir á un mismo tiempo una superficie mayor. Esta esplicacion es suficiente para usar del soldador; pues aclarará mas al operario un cuarto de hora de su uso, que todas las demas aclaraciones que se hiciesen.

Este aparato solo tiene el inconveniente de ser espuesto á una esplosion; pero con las precauciones del competente número de telas metálicas, y si se quiere la de la capa de aceite, se puede evitar este recelo.

Podría servir en algunas ocasiones el comprimir en este aparato una porcion solo de oxígeno; pero en este caso el chorro de gas debería pasar por un medio combustible como la llama de una bugía ó candileja como representa la (fig. 85). Esto, para otros objetos es suficiente; mas para el nuestro podría ser embarazoso; sin embargo, con una cierta maña podría tambien ser aplicable: sobre cuyo punto no nos detendrémos mas, porque repetimos que un poco de práctica ilustrará mas que una profusa esplicacion.

156 Resulta, pues, de todo cuanto hemos manifestado: *que por este medio se pueden obtener las presas con mucha facilidad, y sin grande gasto*; *y como por quebrado y desigual que sea nuestro terreno, ejecutando estas presas á las distancias convenientes, se tendrán rebalsadas las aguas, se conservarán á mayor altura, y podrán servir para el regadío, para la navegacion, y para producir pesca, se infiere que nuestra construccion reune todas las circunstancias que se deben apetecer*; *y estendiendo su uso, como propondrémos en el libro IX, sería el mayor bien que*

se podría hacer á la España, para que prosperen sus beneméritos habitantes, que es lo que yo mas deséo.

CAPÍTULO IV.

Indicacion de los parages de España en que debería establecerse desde luego mi nueva construcion de obras hidráulicas, al ménos por via de ensayo.

157 Por lo espuesto en el capítulo anterior, aparece que *mi nueva construccion es general para todas las localidades*; pero como todo método nuevo, particularmente cuando versa sobre asuntos que han de reducirse á práctica, conviene que se establezca la primera vez por via de ensayo donde sus consecuencias sean ménos funestas, si por desgrácia no saliese con la perfeccion que se concibe *, es de la mayor utilidad el indicar los parages que reunan las espresadas circunstancias.

1.º Ante todas cosas, donde parece que tiene su aplicacion inmediata es en el parage para el cual lo inventé yo mas particularmente, que es para el proyecto de unir el Océano en Orio con el Mediterráneo en Tortosa, por el punto de fácil acceso que yo reconocí, y de que hablo en el libro 9.º Allí existen todos los elementos, que se pueden necesitar, con las mayores ventajas. Y si no hubiera ocurrido la desgracia de morir la persona que estaba convenida conmigo en suministrarme los fondos para todo género de empresas, que yo conceptuase útiles, acaso ya estaría puesto en ejecucion; pues haciéndose un asunto de interes privado mio, no había necesidad de gastar el tiempo en persuadir á nadie; y ejecutado ya una vez con éxito feliz, la obra construida era el documento mas auténtico para convencer de la bondad del método. Mas, puesto que por el incidente espresado, y algunas otras causas, se paralizó por entónces este importantísimo proyecto, es preciso tener paciencia, hasta que se vea si puede realizarse por otros medios, lo que jamas perderé de vista.

2.º Podría desde luego ponerse en ejecucion, si al realizar el

* Como mi fin no es otro que disminuir las penalidades del género humano, por mas interes que tenga en que se realicen mis idéas, jamas perderé de vista el que se tomen todas las precauciones, para que se eviten catástrofes análogas á las que se verificaron en el puerto de Santa María con la rotura del puente ó puentes nuevos que se contruyeron en tiempo del Conde de O-Reilli.

proyecto de conducir aguas á Madrid, con la abundancia que exigen las necesidades de la capital, se adoptase la idéa que yo tengo propuesta de hacer depósitos de agua en las montañas; pues las presas necesarias se podrían hacer por mi método, reduciendo el gasto á ménos de la cuarta parte de lo que costaría por el método regular.

3.º Podría ponerse desde luego en ejecucion con muchísimas ventajas, en las presentes circunstancias, que se han tomado las medidas para concluir el canal de Castilla con sus ramificaciones, acabando de ejecutar la presa de Guadarrama por mi nuevo método segun hemos ya indicado; y como construida la presa, se tienen ya cuatro leguas de canal que llegan hasta cerca de la casa del Campo de Madrid, y por la parte superior de la presa deben llegar las aguas hasta cerca de Segovia, donde podrían enlazarse con el canal de Castilla, y con el Duero para llegar al Océano en Oporto, resulta que esta es la ocasion mas adecuada para meditar sobre este particular; pues de este modo teníamos ya espedita para Madrid la comunicacion por agua con el centro de Castilla y con el mar en Oporto.

En mi Memoria sobre la nivelacion del Jarama, Lozoya y Guadalix, pág. 492 del Mercurio de octubre de 1824, manifestaba que con unos trece millones, se podría componer y concluir la espresada presa de Guadarrama, y establecer la navegacion hasta unirla con el canal de Manzanares; pero ahora, en virtud de las ventajas que proporciona mi nueva construccion de obras hidráulicas, no tengo dificultad en asegurar que, suponiendo construido el canal de Castilla, en los términos qne se espresa en la Real Cédula de 17 de marzo de 1831, inserta en la Gaceta de 26 de abril del mismo año, con los trece millones espresados habrá, por mi nuevo método, para conseguir no solo el objeto enunciado, sinó que acaso se podrían ejecutar las obras necesarias para hacer navegable el Duero hasta Oporto.

En cuyo caso, recibía desde luego Madrid la ventaja de estar abastecido de todo; pues que tenía la comunicacion espedita por agua con todas las Castillas y con el mar; y podría tambien Madrid conseguir estar abastecido de aguas potables por este medio. He aquí en resúmen indicadas por mayor las ventajas que de esto resultarían; y á la verdad que si yo tuviera los espresados trece millones, no dudaría un solo instante en hacer al Gobierno mi proposicion ofreciendo realizarla.

4.º El cuarto parage en que convendría poner en ejecucion mi nuevo método, y que es, por decirlo así, el mas propio para un en-

sayo, es el hacer un puente por mi sistema en el arroyo de Viñuelas, en la carretera de Francia entre San Sebastian de los Reyes y Fuente el Fresno. Es tan necesario este puente, que en mi concepto se interesa en su construccion hasta el decoro del Gobierno.

En efecto, es bien sabido que la carretera de Madrid á Irun es la mas principal de España, puesto que es la que nos une con toda la Europa. Ya hemos indicado (13) que en el Establecimiento de los puentes, segun Gauthey, se interesa el decoro del Gobierno. Pues, ahora bien, todo viagero que de cualquier parte de Europa, viniendo á Madrid, se detenga en el arroyo de Viñuelas si trae avenida, por no haber puente para pasarle, no podrá ménos de formar una idéa desventajosa, al ver á unas tres ó cuatro leguas de la capital, que, en tiempo de lluvias, los corréos, las diligencias, las sillas de postas, los coches, &c., tienen que detenerse á que se concluya la avenida para poderle pasar. Y á la verdad que el concepto, que por este hecho aislado se podrá formar acerca de la España, sería bien inexacto y desventajoso.

158 Al hacer yo en 1819 la nivelacion del Jarama, Lozoya y Guadalix, vi concluida enteramente la parte del camino real que hasta la orilla del mismo arroyo llega en cada lado; y por no existir el puente, que debió construirse al mismo tiempo, se ven obligados los transeuntes á separarse de dicho camino para ir á pasar el arroyo por un parage que es intransitable, cuando lleva mucha agua, y por consiguiente los pasageros, sin escepcion alguna, tienen precision de esperar á que disminuyan las aguas.

159 Yo volví á pasar por este parage á fines de 1829, y aunque formalmente no estuvimos detenidos, el conductor de la Diligencia tuvo que hacer un previo reconocimiento para examinar si había riesgo en pasarle. Se hallaba todo, esto es, los dos pedazos de camino, &c. en el mismo ser y estado que en 1819, y formó el asunto de la conversacion, tanto del conductor y mayoral de la Diligencia, como de los demas pasageros, el lastimarse de que en un parage tan principal no se hubiese realizado la construccion del espresado puente. Entónces oí decir al conductor, que habían encontrado muchas dificultades para establecer allí los cimientos, por ser terreno falso, y que el último proyecto que había era de construirlo valuando el gasto en un millon de reales.

160 Yo conceptúo que, en el estado actual de las cosas, este debe ser el primer ensayo, no solo porque, siendo este un proyecto aislado de poco gasto, se puede emprender en el momento, sinó por-

que, á pesar de que para él se deberían hacer los gastos del horno, buscar combustible y sustancias metálicas para fundir, establecer navegacion para el trasporte por agua, &c., &c., á pesar de todo esto, repito, hay mucha probabilidad de que todo costase ménos del millon de reales en que dicen estar graduado.

En efecto, el tal arroyo es verdaderamente un torrente, ya por no tener agua sinó cuando llueve, como porque tiene mucho declive, lo cual origina que el agua lleve una gran velocidad; por lo que será muy peligroso vadearle aunque no vaya mas que mediano.

161 Allí está indicado hacer el puente de un solo arco, de manera que no hay mas que hacer los estribos y el arco, sin necesidad de ninguna otra cosa. El buscar el terreno firme para edificar por los métodos ordinarios, sería efectivamente muy dificultoso; pero por mi método se conseguirá edificarlo con la mayor sencillez y sin estrechar nada la corriente; por lo que nada se tendría que temer por parte de los socavamientos que resultan por el estrechamiento de la salida.

162 Segun lo que yo conservo en la memoria, y sin embargo de que, si se llegase á efectuar, convendría practicar las diligencias espresadas (15 y 16), está reducida la operacion á lo siguiente.

El curso del arroyo viene á ser el *ABCDEF* (fig. 86). Yo no haría cimiento ninguno. Solo haría una simple zanja de unos dos pies de profundidad, y en toda la estension desde *E* hasta *m*, y desde *B* hasta *p*, para formar una cepa de brecha ó pudinga que impidiese el socavamiento de las aguas. Y si se prefiriese el uso de los pilotes, de que hemos hablado (130), bastaría poner algunos pilotes: derramaría materias fundidas en que entrasen partes metálicas, en bastante abundancia para que penetrasen todo lo posible, ó las dejaría caer de grande altura, para que, adquiriendo mucha velocidad, penetrasen mas. Despues iría echando encima la arena y guijo que saqué; continuaría echando materias fundidas, que ya las superiores no importa que no tuviesen tantas materias metálicas. Pero lo que sí era esencial es que por la parte *ED*, se prolongase esta roca artificial ya con pilotes, ya solo derramando sustancias fundidas en la pequeña zanja &c., hasta el punto *m*, á fin de que por aquel parage no corroyesen las aguas el fondo y se abriesen un paso como en la direccion *mn*, y dejasen en seco el puente como el que hay cerca de Talamanca unas tres ó cuatro leguas mas arriba del parage que nos ocupa. Por el lado *AB*, la roca artificial, ya fuese con pilotes, ya sin ellos, ni debería

estenderse tanto en longitud, ni ser tan gruesa; pues que por allí no tiene propension el arroyo á dirigir su curso; y así podría comprender hasta *p* y ocupar el espacio que señalamos con los puntos ó círculos.

En los espacios *hlki*, *rsut*, que hay entre el camino construido y la orilla del arroyo, formaría una roca artificial por el método espuesto (131); y sobre ella construiría los estribos, siendo estos mas estrechos que dicho intervalo, á fin de aumentar mas bien la salida del puente que disminuirla. Los estribos se elevarían hasta la altura que convenga, para que el piso superior del puente se hallase á nivel con el camino construido; á cuyo efecto, y dejar siempre el mayor espacio posible para la salida del agua, el arco debería ser rebajado, y de la forma de una semielipse. Yo haría todo el arco usando de materias fundidas en vez de mezcla, y pondría, para el tránsito de las ruedas de los carruages, largas losas de piedra, que allí no sería difícil encontrar, unidas entre sí por materias fundidas. Pero, en mi concepto, lo mejor de todo para evitar el estremecimiento del puente por el paso de los carruages, yo haría sobre la masa sólida del puente un camino regular, pero que estuviese siempre bien cuidado, y que, si en vez de guijo se echasen escorias de las ferrerías, sería mejor. Por este medio se evitaban los estremecimientos del puente por el choque de las partes duras las unas contra las otras.

Antes de usar el puente, y con el fin de evitar catástrofes análogas á las indicadas (nota del (§ 157)) convendría probarlo de este modo. Se echará arena, que allí está bien abundante, sobre toda la estension del puente, de modo que en cada parage resulte mayor peso que si tuviese una diligencia cargada encima; y si el puente resistía á todo este peso, era una señal infalible de que resistirá al peso ordinario, que lo mas podrá suponerse de dos ó tres diligencias.

Por la parte inferior del puente continuaría un poco la roca artificial sin mas que echar materias fundidas sobre las mismas arenas, ó solo abriendo algo de zanja; con lo cual resultaría en mi concepto un puente mas sólido y permanente que ninguno de los construidos por los métodos ordinarios, y de tan larga duracion como las demas rocas del universo.

163. Las circunstancias por las cuales es tanto mas apreciable esta localidad para el ensayo, es que al buscar únicamente los materiales y la facilidad de su conduccion, quedase establecida la

práctica de dos circunstancias que traerían muchísimas ventajas.

En efecto, cerca de Tamajon hay una mina de carbon de piedra; y aunque segun el reconocimiento científico que se ha hecho de ella, ni dicho carbon es abundante, ni de buena calidad; sin embargo, como para este objeto no hay precision de que el carbon de piedra sea puro, yo no pierdo las esperanzas de que podría ser adecuado para este objeto; y tampoco es inverosímil el que, sacando en un principio de este carbon de mala calidad, que no por eso dejaba de sernos útil, se llegase á encontrar alguna beta ó capa mejor que fuese útil para otros usos, y esto nos hallábamos.

164 Si, en efecto, se hallase el carbon de piedra útil para esta empresa, se debería trasportar por agua por el curso del Jarama hasta su confluencia con este arroyo, que dista poco del parage citádo, como representa la misma figura. Esto acaso aturdirá, creyendo que para ello se necesita hacer de antemano navegable el Jarama, por la idéa que se tiene de que *para que un rio ó una corriente de agua sirva para el trasporte de los efectos, es preciso que voguen barcos á vela llena.* Sin embargo, cuando se quiere sacar ventajas de estas posiciones, sin necesidad de que pasen barcos por formal navegacion, se puede conseguir el trasporte de los géneros. En nuestro caso, el Jarama en la estacion del invierno lleva mas que suficiente agua para poder conducir en armadías, compuestas de maderos entrelazados, las leñas, el carbon de piedra y aun los demas materiales si se encuentran por allí sustancias metálicas adecuadas.

165 Hay una circunstancia en España, por la cual acaso sin ningun gasto, se puede facilitar mucho la conduccion de los materiales por armadías, y es lo que abundan los pellejos para la conduccion del vino y del aceite. Estos pellejos, llenos de aire y colocados convenientemente entre los maderos ó palos de las armadías, harán que estas puedan llevar mas peso sobre sí; y arrojadas en el Jarama, la corriente misma las llevaría hasta la confluencia con el espresado arroyo de Viñuelas. Despues los pellejos se llevaban otra vez al embarcadero, y servían todo el tiempo que se necesitase en este trasporte, que, disponiéndolos convenientemente, sería muy raro el que se estropeasen. Siempre sería necesario hacer alguna operacion en ciertos parages del rio; pero en procediendo con arreglo á los principios científicos, sería poco su coste; y entre todo, y aun en el supuesto de que para las sustancias metálicas que se necesiten, fuese preciso traerlas de Vizcaya, lo que no es probable, pues consta que

en aquellas inmediaciones las hay *, y que aquí nada importa la naturaleza del mineral hasta cierto punto, ni su impureza, es bastante probable que con ménos del millon de reales se podría construir el puente con el horno portátil de fundicion, y este quedaba para otras obras; y si en efecto se hallaba el carbon de piedra, y se establecía el medio de trasporte por armadías, que tuviesen interpuestos pellejos llenos de aire, quedarían establecidas estas prácticas, y espedito el tránsito por agua, lo ménos desde el ponton de la Oliva ó confluencia del Lozoya con el Jarama hasta el puente de Viveros. Imitando despues este procedimiento, se podría conseguir con igual éxito para el trasporte por el Manzanares; y Madrid podría tener muchos artículos de primera necesidad, como son la leña, la madera, el carbon, los materiales de construccion, &c. &c., de un modo muy equitativo; y en muy pocos años se llegaría á conocer el impulso que esto daba á la poblacion. Aun podrían venir sobre las armadías otros géneros, si se hiciesen cajas á propósito.

---

* En efecto, si se pasa la vista por el tomo 6.º de la obra sobre el orígen de las Rentas Reales de España por don Francisco Fernandez Gallardo, se ponen las minas siguientes:

"*Provincia de Guadalajara.*

»En el término de Jocar se halla una mina de plata.

En Cardoso y su término se hallan una de oro y plata, y cuatro de diferentes metales.

En el de Montejo otra de plata.

En el lugar de la Aceveda se conocen cuatro minas de plata, y otras de diversos metales.

En el término de Buitrago hay una de plata.

Y finalmente, en Cogolludo y Tamajon otras dos de plata y oro.

»*Provincia de Madrid.*

»En Colmenar Viejo hay cinco minas de oro y plata, y una del mismo metal con ley de oro.

En el término de la villa de Guadalix hay diez minas de plata, y otras de diferentes metales.

En el de Chozas se encuentran otras cinco de plata.

En Manzanares seis de oro y plata.

En Galapagar diez de las mismas materias y otros metales.

Y en Miraflores de la Sierra una de plata.

»*Minas de cobre.*

»Se encuentran tres, á saber, una en Colmenar Viejo, otra en Miraflores, y la tercera en Colmenarejo."

Estas minas serán de lo que aquí se espresa, ó de piritas ó de cualquiera otra cosa; pero en lo que no cabe duda es en que hay sustancias metálicas; y esto basta para nuestro objeto. Pudiendo suceder que, al beneficiar estos minerales, solo con el objeto de que proporcionen materias fundidas, de gran peso específico, hallemos algunas sustancias que, beneficiadas por sí, produzcan utilidades importantes de otra especie.

Con lo cual la poblacion de Madrid, por un medio tan indirecto, y sin hacer ningun sacrificio, ni gasto, recibiría unos beneficios que no se pueden conocer lo suficiente, sin haber vivido á la orilla de rios navegables; y como luego se podía estender este procedimiento en muchas localidades de España, resultaban las ventajas de la navegacion interior sin los grandes gastos que hasta ahora se ha supuesto que se necesitaban. ¡Dichoso yo, si en mis dias viese á los Madrileños, y en general á los Españoles, disfrutar de alguna de las felicidades que les indico!

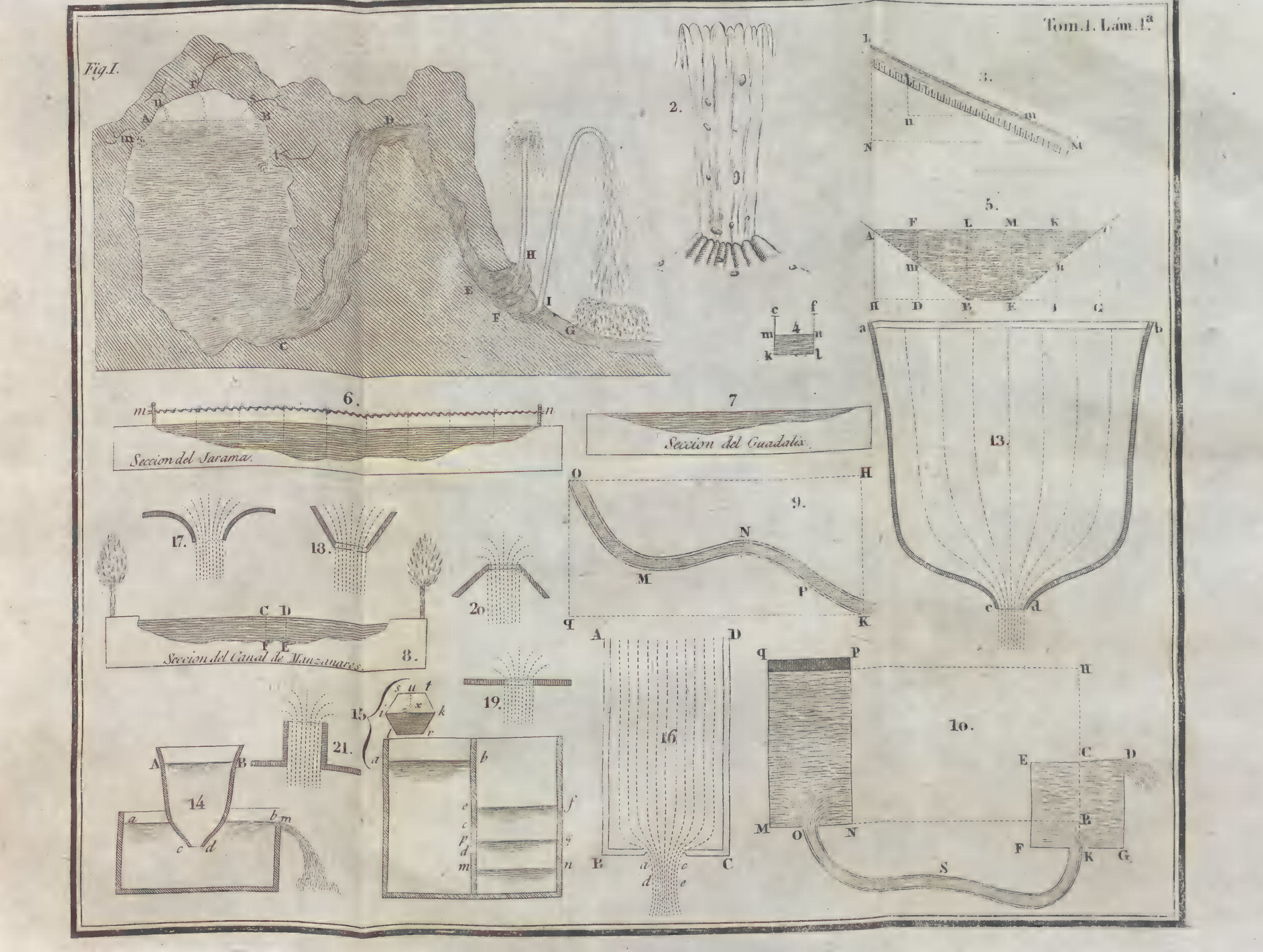
FIN DEL TOMO PRIMERO.

ERRATAS.

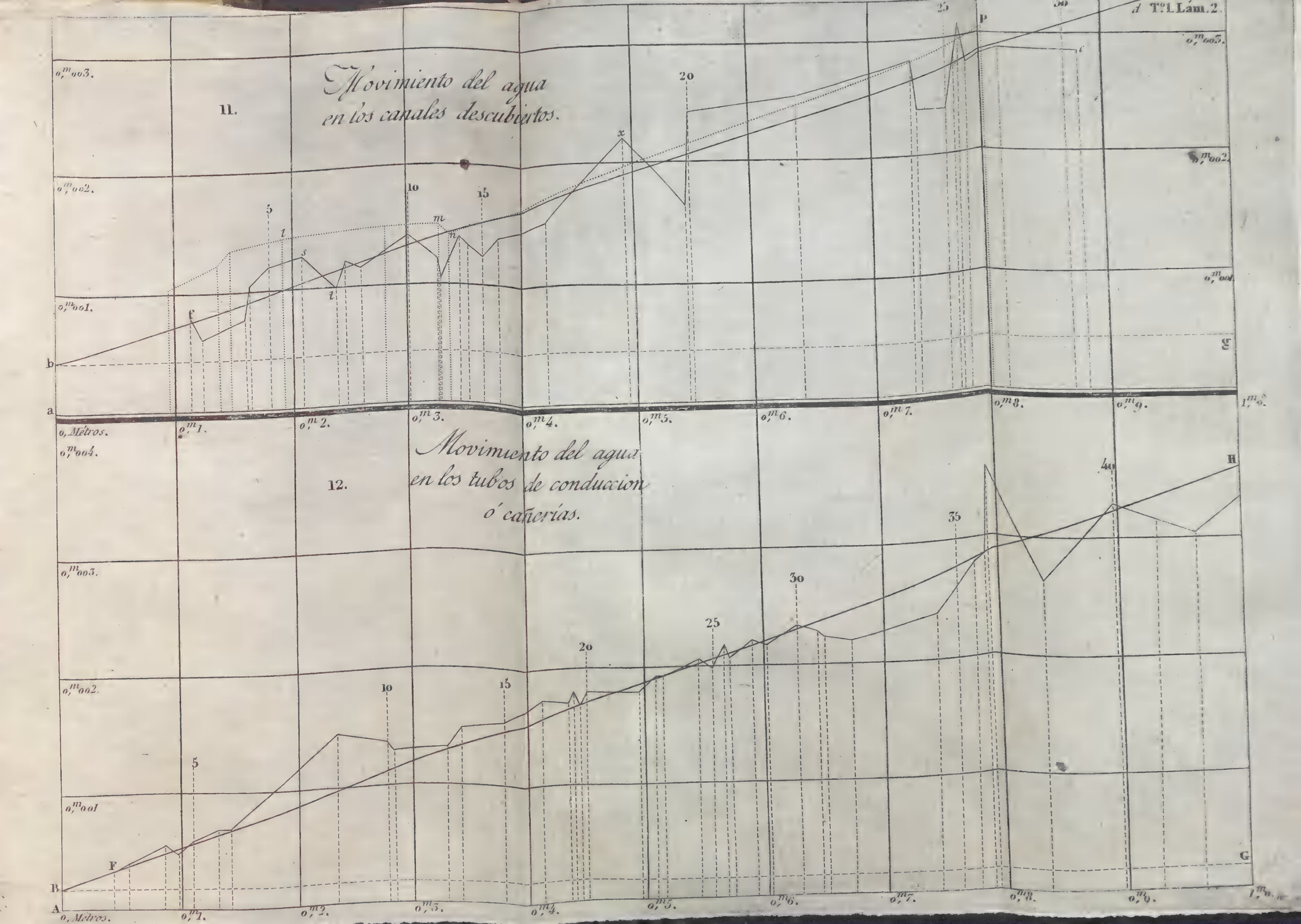
Página	Línea	DICE	DEBE DECIR
102	30	incomprensibles	incompresibles
112	21	En algunos ejemplares $\frac{1}{}Dgj$	$\frac{1}{4}Dgj$
179	19	*de*	*del*
183	20	coefieiente	coeficiente
252	28	$r=0,7807$	$r=0,07807$
265	17 y 18	cuando despues de haber determinado	cuando se ha determinado
266	12	verá	será
268	27	coresponde	corresponde
269	Rótulo 2.º de la tabla	correspondietes	correspondientes
279	16 nota	respect	respecto
287	9	*del*	*el*
302	1	d'adque	d'acque
313	13	multiplidadas	multiplicadas
319	35	eomo	como
345	20 nota	qu	que
353	15	94,65855	94,65856
id.	19	id.	id.
355	5	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$ de pie
408	33	al	á la
427	última	circunstaneias	circunstancias
430	21	disposion	disposicion
436	15	facilidad la	facilidad que la
id.	16	producen	produce
446	25	descomposion	descomposicion
457	14	Fareinheit	Fahrenheit
480	28	Arquetectura	Arquitectura
486	9	Hassenfrat	Hassenfratz
567	30	Atmófera	Atmósfera
568	19	hidratata	hidratada
582	37	en	de

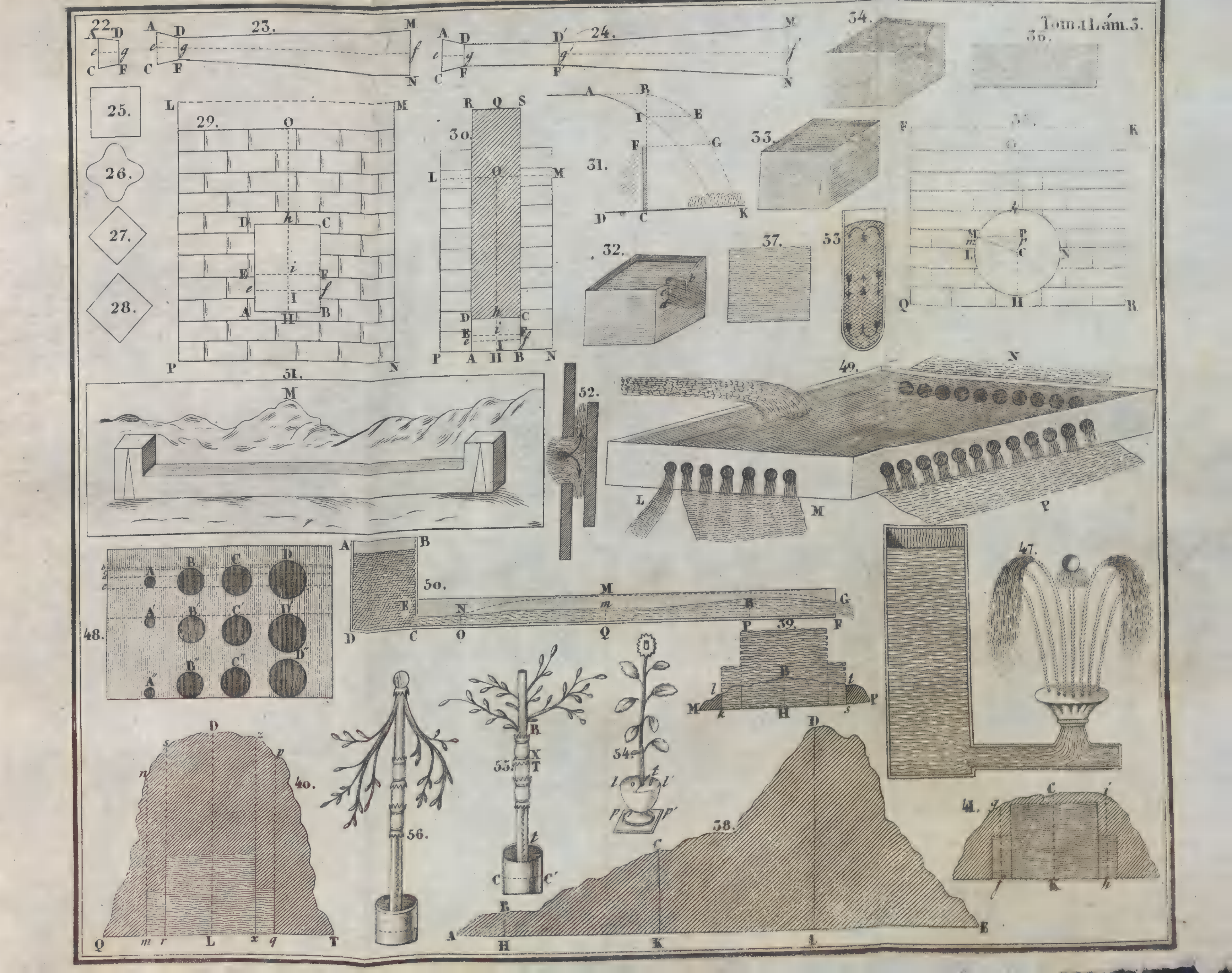


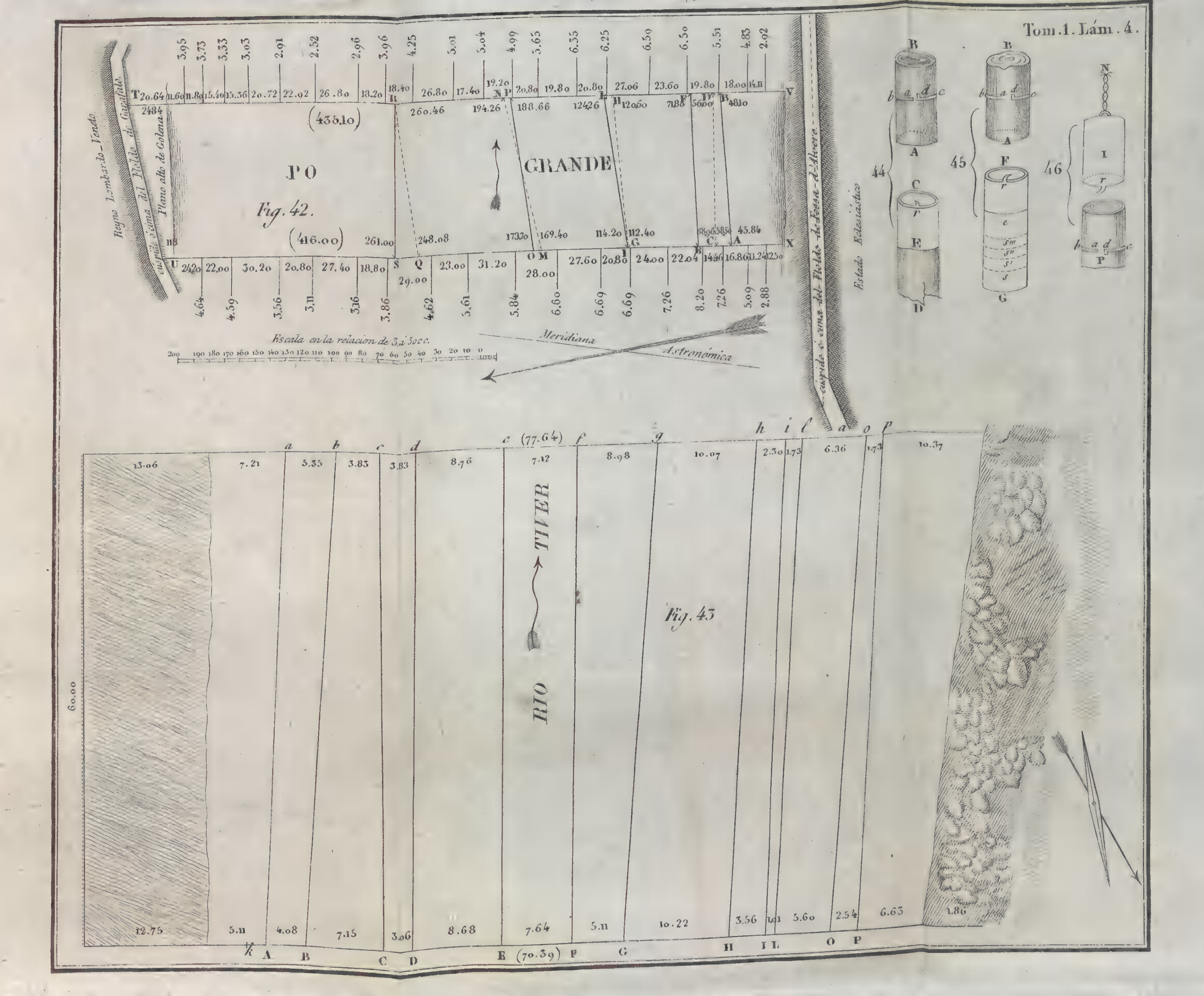
D
8.
s u t
x
d

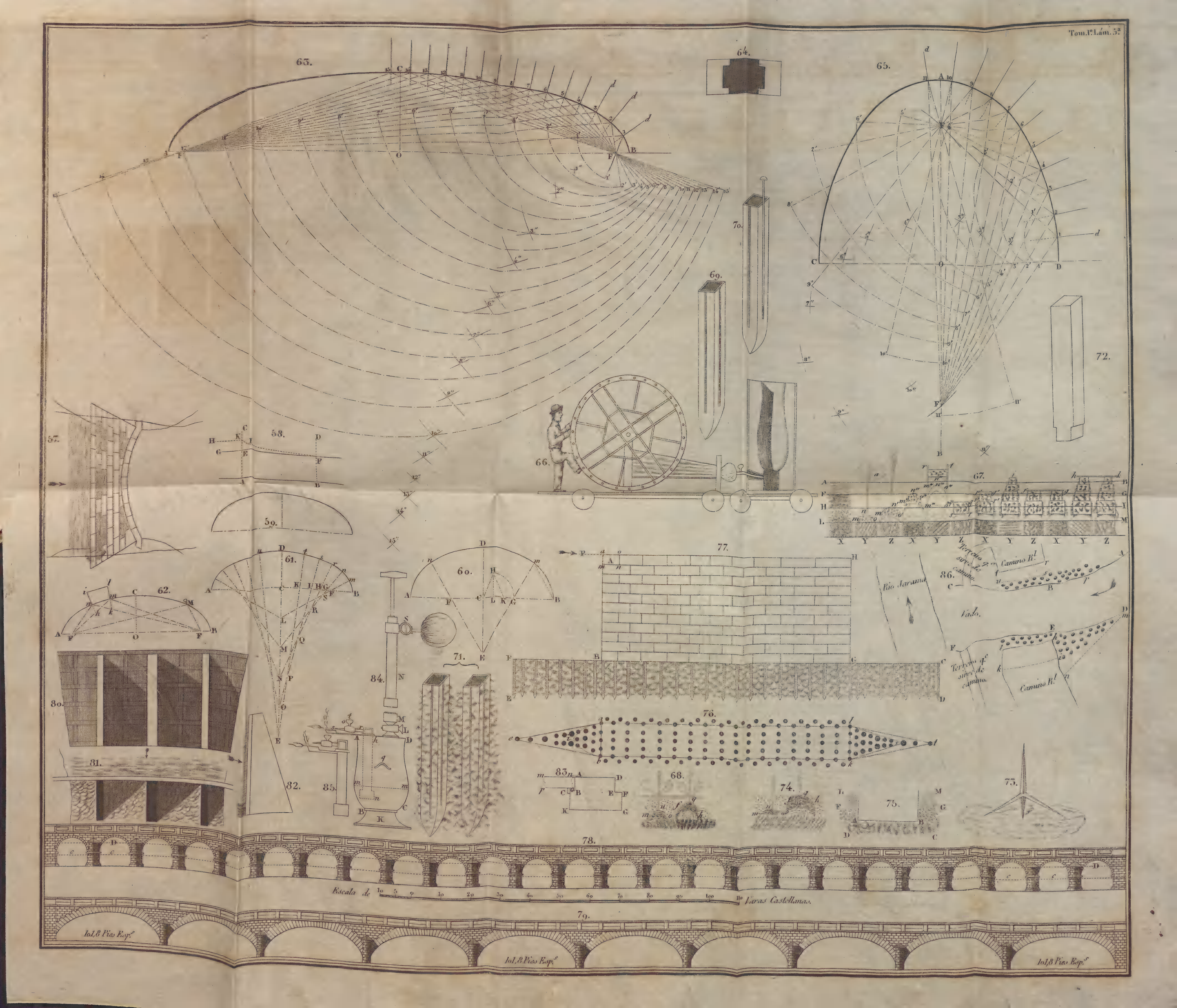


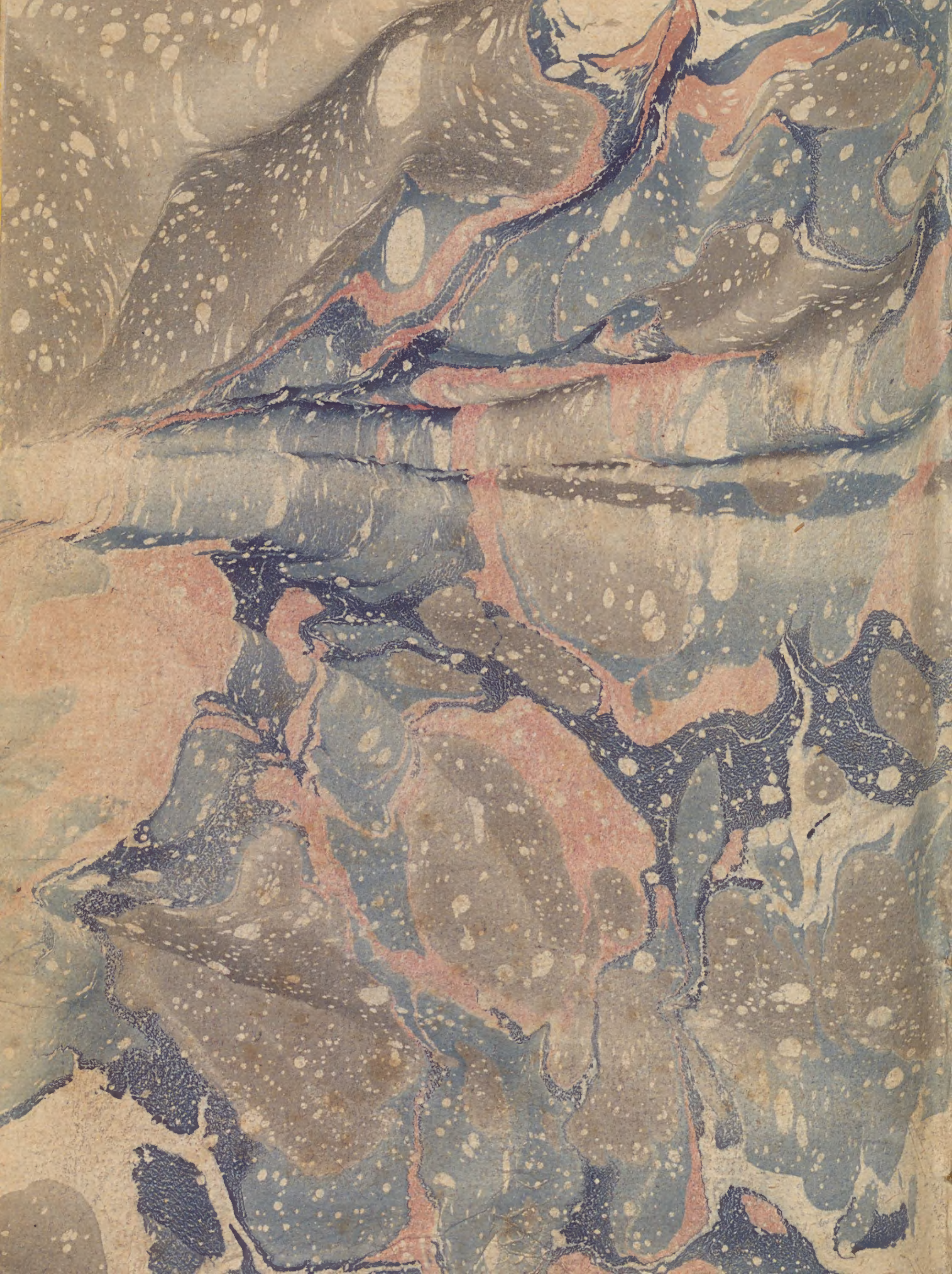
Tom.1. Lám.1.ª
Fig.I.
Sección del Jarama.
Sección del Guadalix.
Sección del Canal de Manzanares.

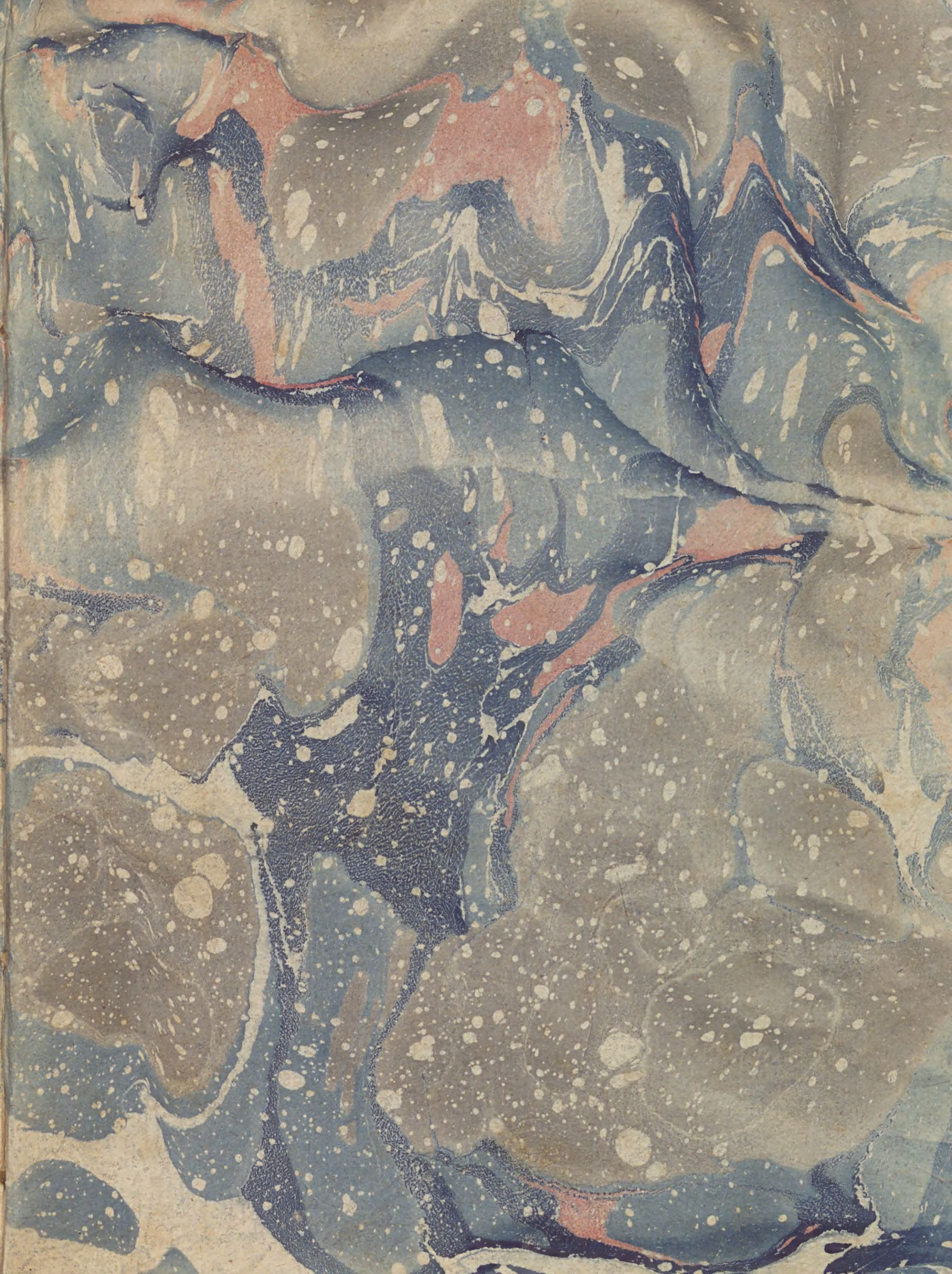

Movimiento del agua
en los canales descubiertos.
11.
Movimiento del agua
en los tubos de conduccion
ó cañerias.
12.
0, Métros.
0,m1.
0,m2.
0,m3.
0,m4.
0,m5.
0,m6.
0,m7.
0,m8.
0,m9.
1,m0.
0,m001.
0,m002.
0,m003.
0,m004.


Tom.II.Lám.3.
22.
23.
24.
25.
26.
27.
28.
29.
30.
31.
32.
33.
34.
37.
38.
39.
40.
41.
47.
48.
49.
50.
51.
52.
54.
55.
56.


Fig. 42.
PO GRANDE
Reyno Lombardo-Veneto
cuspide ó cima del Flolde de Garafilo
Plano alto de Golena
cuspide ó cima del Flolde de Fossa-d'Alvero
Estado Eclesiástico
Escala en la relacion de 3 á 5000.
Meridiana Astronómica
(435.10)
(416.00)
Fig. 43
RIO TIVER
(77.64)
(70.39)
60.00
44
45
46


63.
64.
65.
66.
67.
68.
69.
70.
71.
72.
73.
74.
75.
76.
77.
78.
79.
80.
81.
82.
83.
84.
85.
86.
57.
58.
59.
60.
61.
62.
Rio Jarama
Terreno q. sirve de camino.
Camino R.l
Vado.
Terreno q. sirve de camino.
Camino R.l
Escala de 10 5 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 Varas Castellanas.
Iol, 8 Piz Esp.r
Iol, 8 Piz Esp.r
Iol, 8 Piz Esp.r







VALLEJO

TRATADO DE LAS AGUAS

1